Г. С. Семенов

# РЕМОНТ МИКРОВОЛНОВЫХ ПЕЧЕЙ

Москва
СОЛОН-Пресс
2003

УДК 621.397
ББК 32.94-5
С19

*Серия «Ремонт», выпуск 19*

**Сапунов Г. С.**

С19 Ремонт микроволновых печей. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 272 с.: ил. — (Серия «Ремонт»)

ISBN 5-98003-122-7

В книге в популярной форме изложены особенности микроволнового излучения, его влияние на вещество и биологические объекты. Подробно рассмотрены устройство и принцип действия микроволновой печи и составляющих ее компонентов. Приводится более 70 электрических схем микроволновых печей с кратким описанием характерных неисправностей и методов их устранения

Книга рассчитана на читателей, стремящихся самостоятельно освоить ремонт микроволновых печей.

УДК 621.397
ББК 32.94-5



ISBN 5-98003-122-7

# Предисловие

Как отремонтировать микроволновую печь? Для многих людей этот вопрос превратился в головную боль. Ничто не вечно под луной, и время от времени дорогостоящие изделия даже самых известных фирм-производителей, славящихся своим качеством, перестают функционировать. Как, вероятно, догадывается читатель, продукция отечественных предприятий — не исключение. Но если утюг или даже телевизор можно снести в мастерскую, то при поломке микроволновой печи возникают непредвиденные проблемы. В настоящее время далеко не каждая мастерская по ремонту бытовой техники берется за ремонт микроволновых печей. И это несмотря на довольно высокие цены, установившиеся в этой сфере деятельности. Между тем в таком ремонте нет ничего сверхсложного. Во всяком случае, это не сложнее, чем ремонт телевизора.

Известно, что любую вещь можно отремонтировать, если достаточно долго вертеть в руках. Прочитав эту книгу, вы в 99% случаев сможете подтвердить справедливость этого высказывания на практике, отремонтировав свою печь самостоятельно. Оставшийся процент относится к тем случаям, когда или ремонт требует более глубоких познаний, или печь проще выбросить, чем реанимировать. Зачем, к примеру, пытаться восстановить печь, случайно попавшую под бронепоезд? При желании, вдохновившись первыми успехами, можно открыть свое дело и восполнить бюджет, частично растраченный на данную книгу.

Разумеется, для того чтобы браться за ремонт такой простой вещи, как микроволновая печь, требуются некоторые элементарные познания в электротехнике и электронике, однако я и не льщу себя надеждой, что эту книгу с упоением будут читать домохозяйки.

Так чем же вызван дефицит услуг по оказанию “микроволновой помощи”? На мой взгляд, имеются три основные причины. Первое — это практически полное отсутствие в продаже запчастей к микроволновым печам. И на первый взгляд может показаться, что данная книга здесь вряд ли чем поможет. Однако это не совсем так. Во многих случаях вышедшие из строя детали можно восстановить, и при этом они еще долго прослужат. А некоторые детали импортных микроволновых печей можно без потери качества заменить на отечественные. Существуют даже такие случаи, когда весь ремонт заключается в том, чтобы просто удалить неисправную деталь, ничего не поставив взамен. И это не экзотика, а часто встречающаяся поломка. Вторая сдерживающая причина — это полное отсутствие технической литературы по данному вопросу. Немного перефразируя известное выражение, можно сказать, что эта книга — “луч света в темном царстве”. Конечно, в рамках одной книги нельзя дать исчерпывающую информацию по всем вопросам, которые могут возникнуть при ремонте микроволновых печей, но автор старался отобрать наиболее важный материал, который может представлять интерес и с познавательной, и с практической точки зрения.

И, наконец, тормозит печной сервис специфика микроволнового излучения. Даже специалисты по электронике зачастую очень смутно представляют, что такое микроволны и как с ними бороться. Как правило, специальная литература по данной теме до такой степени нашпигована трудноперевариваемыми формулами, что желание закрыть книгу возникает гораздо раньше, чем начнешь что-нибудь понимать. В то же время без знания основ микроволновой техники при ремонте печей невозможно обойтись. Поэтому в первой главе данной книги автор попытался в популярной форме изложить те разделы микроволновой техники, которые необходимы для понимания особенностей работы микроволновой печи. Простейшие формулы приводятся только там, где без них не обойтись. В том же стиле выдержаны и последующие главы.

Книга состоит из трех основных разделов. Первый условно можно назвать теоретическими основами печного ремесла или, может быть, несколько скромнее — ликбез для начинающих. Второй — это методы и особенности ремонта микроволновых печей. Здесь подробно описана работа некоторых типовых электрических схем и изложен весь накопленный автором опыт, который, я надеюсь, будет полезен не только начинающим, но и профессионалам. Последний раздел включает в себя различного рода справочную информацию.

# 1. Азы микроволновой техники

## 1.1. Что такое микроволны

Микроволновое или, иначе, сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение — это электромагнитные волны длиной от одного миллиметра до одного метра. Сфера применения микроволновой техники в настоящее время достаточно широка и по мере развития науки и технологии все больше внедряется в нашу повседневную жизнь. Кроме рассматриваемых в этой книге микроволновых печей можно отметить такие области применения, как радиолокация, радионавигация, системы спутникового телевидения, телефонная сотовая связь и многое другое. В последнее время идут интенсивные и небезуспешные исследования по использованию микроволн в медицине и биологии.

Физическая природа микроволнового излучения такая же, как у света или радиоволн. Отличие только в частоте, с которой происходят электромагнитные колебания, или в длине волны, что — то же самое, поскольку последняя связана с частотой соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

где $\lambda$ — длина волны, c — скорость распространения волны, f — частота.

Частота, с которой происходят колебания электромагнитного поля, в значительной степени влияет на его внешние свойства. Все знают о существовании радиоволн, инфракрасного или теплового и ультрафиолетового излучения, рентгеновских лучах и видимом свете. Но все это разные проявления одного и того же явления — электромагнитных волн. Различие заключается только в одном — в частоте колебаний (рис. 1.1). И, тем не менее, свойства перечисленных явлений могут отличаться как день от ночи. Причина заключается в соизмеримости длины волны с различными физическими объектами. Например, свет или рентгеновское излучение легко проходят через кристалл, у которого расстояние между атомами меньше длины волны и, наоборот, длинноволновое излучение не сможет проникнуть, допустим, в металлическую трубу даже очень большого диаметра. Поэтому, попав каким-нибудь загадочным образом в цельнометаллический тоннель с транзисторным приемником, не пытайтесь его трясти и бить о стену в надежде извлечь звуки, отличные от треска и шипения.

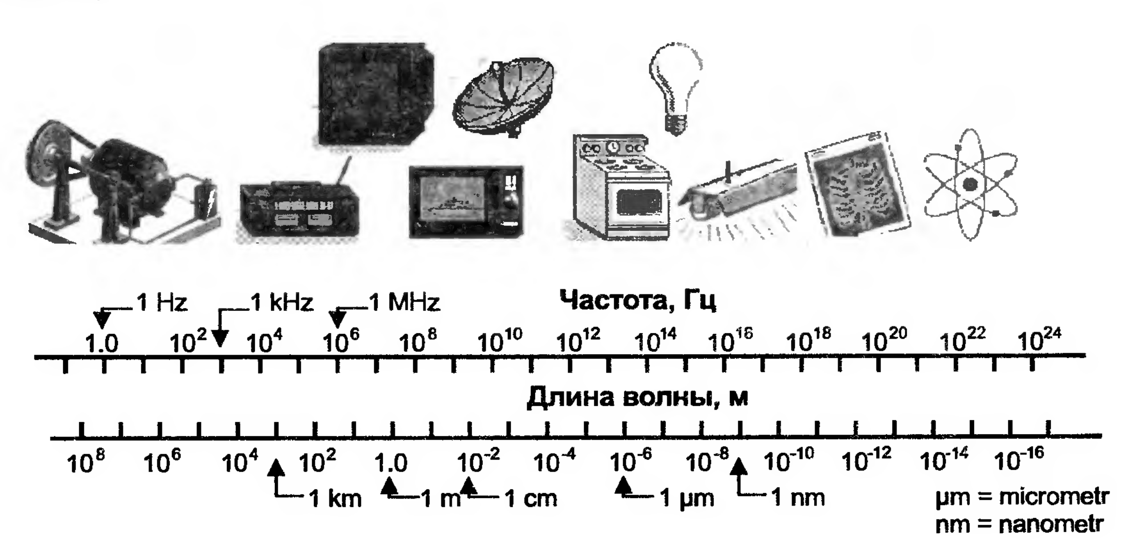



**Рис. 1.1. Шкала электромагнитных волн**

Если в низкочастотной электронике принято оперировать понятиями токов и напряжений, то в микроволновом диапазоне в большинстве случаев используются величины, характеризующие электромагнитное поле. Главные из них — это напряженность электрического поля E и напряженность магнитного поля H. Для наглядности электрические и магнитные поля принято изображать в виде силовых линий. Силовые линии не являются реально существующими физическими величинами, а лишь помогают графически отобразить то, что не имеет ни формы, ни цвета, ни запаха. Касательная к силовой линии указывает направление силы, действующей на электрический заряд или магнитный диполь, а плотность расположения силовых линий — на величину напряженности поля.

Например, на рис. 1.2 показано магнитное поле вокруг проводника с током и электрическое поле, образованное двумя точечными зарядами.

Длина волны микроволнового поля — величина того же порядка, что и компоненты электрических схем, поэтому последние очень сильно влияют на его распределение. Если в СВЧ цепь включен резистор, то его ориентация в пространстве, размеры и длина выводов имеют такое же значение, как и номинал, а в некоторых случаях и более важное. Такие компоненты, как конденсаторы и индуктивности, вообще выполняются на СВЧ платах в виде утолщения или сужения токоведущего проводника. В этом есть некоторое преимущество, поскольку многие пассивные элементы технологически можно выполнить очень легко и с минимальными затратами. Например, колебательная система магнетрона, используемого в микроволновых печах, представляет собой медную штампованную болванку со специальными отверстиями. Аналогичная конструкция на более низких частотах потребовала бы не одного десятка конденсаторов и индуктивностей. Но за все в жизни приходится платить. В данном случае некоторая простота в изготовлении с лихвой перекрывается сложностью на этапе расчета и конструирования. Это одна из причин, которые сдерживают широкое распространение микроволновой техники. Есть и другие, не менее важные.

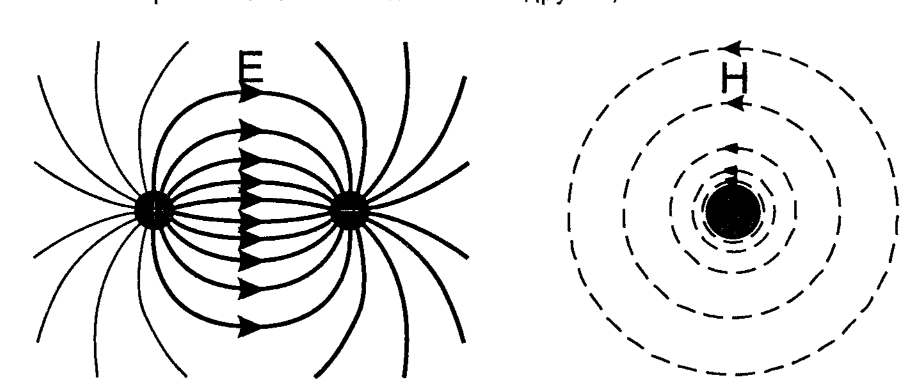



**Рис. 1.2. Силовые линии электрического поля E, образованные двумя разноименными точечными зарядами и магнитные силовые линии вокруг проводника с током H**

Большую сложность представляет проведение измерений на сверхвысоких частотах. Например, волновое сопротивление, хотя оно и измеряется в омах, невозможно измерить омметром. Электрические параметры элементов микроволновой техники носят распределенный характер. Если в радиотехническом колебательном контуре электрическая энергия сосредоточена в конденсаторе, а магнитная в катушке индуктивности, то в СВЧ резонаторе, выполняющем ту же функцию, электрические и магнитные поля переплетены между собой и отделить емкость от индуктивности, за исключением отдельных специфических случаев, не представляется возможным. Пирожок, подогреваемый в микроволновой печи и, соответственно, являющийся нагрузкой СВЧ цепи, вносит в нее дополнительную емкость, а также индуктивность и сопротивление. Переместив пирожок внутри камеры, мы поменяем соотношение между этими параметрами, поэтому бессмысленно измерять пирожки в микрофарадах, даже если бы они хорошо подходили для использования в СВЧ цепях по другим причинам.

Еще одно препятствие на пути микроволновой техники лежит в плоскости теории. В классической электротехнике существует ряд фундаментальных законов, таких, как закон Ома, законы Кирхгофа и др., с помощью которых можно рассчитать электрическую цепь. Иногда это просто, иногда очень просто, а иногда сверхсложно, но тем не менее можно. Однако в СВЧ диапазоне применение этих законов в чистом виде, как правило, невозможно. Как, например, использовать закон Ома, устанавливающий соотношение между током и напряжением, если отсутствует само понятие напряжения? Все законы классической электротехники имеют ограниченный характер. Это вовсе не означает, что они неверны, но они справедливы только там, где отсутствует излучение. Ранее отмечалось, что радиоволны и видимый свет имеют одну и ту же физическую природу. Но ведь никому не придет в голову измерять яркость солнечного света в вольтах или амперах. В свою очередь законы оптики тяжело использовать при конструировании электрического чайника. В ограниченном применении физических законов нет ничего необычного. В природе подобные явления встречаются на каждом шагу. К примеру, в механике в свое время было обнаружено, что при скоростях, близких к скорости света, не выполняются законы Ньютона, длительное время считавшиеся незыблемыми. И только после появления теории относительности Эйнштейна, дополнившей механику Ньютона, все стало на свои места. Оказалось, что существует более общий закон природы, включающий в себя закон Ньютона как составную часть. Подобная же ситуация сложилась в

электродинамике. Существуют уравнения Максвелла, более полно описывающие процессы, связанные с электромагнитным полем во всем спектре электромагнитных колебаний. Законы классической электротехники, как и законы оптики, можно считать частными случаями уравнений Максвелла. В свою очередь, и уравнения Максвелла не являются универсальными. При электромагнитных взаимодействиях элементарных частиц вступают в силу законы квантовой механики, дополняющие уравнения Максвелла. Вполне возможно, что через некоторое время и законы квантовой механики также придется рассматривать как частный случай более общей теории. Уже давно ученые пытаются вывести единую теорию поля, объединяющую все известные виды взаимодействий: гравитационное (описывающее силы притяжения), электромагнитное, сильное и слабое (последние проявляются на уровне атомного ядра). Может возникнуть резонный вопрос: зачем вообще использовать большое количество частных законов, не проще ли пользоваться одним универсальным?

Но проблема в том, что чем более общий характер носит тот или иной закон природы, тем сложнее его практическое использование. К примеру, самый отпетый троечник, имея под рукой нужные формулы, без труда вычислит мощность, теряемую в резисторе при прохождении электрического тока. Но попробуйте решить ту же задачу с помощью уравнений Максвелла. Без всяких натяжек это предмет для докторской диссертации. Исключительно для иллюстрации ниже приведена система указанных уравнений для изотропной и однородной среды:

$$\mathrm{rot}\vec{H} = \sigma\vec{E} + \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial\vec{E}}{\partial t};$$

$$\mathrm{rot}\vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial\vec{H}}{\partial t};$$

$$\mathrm{div}(\varepsilon\varepsilon_0\vec{E}) = \rho;$$

$$\mathrm{div}(\mu\mu_0\vec{H}) = 0.$$

Что будет в случае анизотропной и неоднородной среды, читатель может домыслить сам.

Если бы электротехникам, в своей работе, приходилось пользоваться исключительно данными уравнениями, мы, скорее всего, до сих пор читали бы при свечах. К счастью, природа распорядилась иначе. Так в низкочастотной электронике, используются намного более простые физические законы, которые можно теоретически вывести из уравнений Максвелла, хотя ради справедливости следует отметить, что большинство из них были экспериментально открыты до того, как Максвелл создал свои уравнения. Такое упрощение возможно, когда размеры электронных компонентов намного меньше длины волны. В этом случае излучение радиоволн практически отсутствует и, поэтому, можно считать, что вся энергия передается вдоль проводников, в виде электрического тока[1]. В качестве примера, представим, что на пути проводника с током имеется резистор. Если излучение отсутствует, теряемую в нем мощность можно легко вычислить по простой формуле:

$$P = I^2R$$

Но, если этот же резистор поставить на пути распространения электромагнитной волны, то результат будет не столь очевиден.

Как уже отмечалось, микроволновый диапазон — это та часть электромагнитного спектра, где классическая электротехника уже не работает, а относительно простые законы оптики еще не работают. Поэтому при решении электродинамических проблем в указанном диапазоне приходится либо изощряться, приспосабливая законы оптики и классической электротехники к СВЧ, либо пытаться решать уравнения Максвелла, что в некоторых случаях приносит свои плоды. Смысл этих уравнений состоит в следующем:

Первое уравнение говорит нам о том, что источником магнитного поля могут служить либо протекающий ток, либо меняющееся во времени электрическое поле. В некотором смысле это

[1]На самом деле и в этом случае энергия передается посредством электромагнитного поля. Провода лишь указывают полю маршрут. В качестве доказательства можно привести простой пример: обычная телефонная связь между Санкт-Петербургом и Владивостоком осуществляется по проводам. Если бы энергия передавалась не полем, а носителями тока — электронами, скорость которых значительно меньше скорости света, то ответ на “Привет!” ждать пришлось бы часами.

сходные вещи, поскольку электрический ток представляет собой движение электрических зарядов, а каждый движущийся заряд меняет окружающее электрическое поле и тем самым создает вокруг себя магнитное поле. Это объясняет существование магнитного поля вокруг проводников на постоянном токе. Оно создано совокупностью всех движущихся по проводнику зарядов.

Из второго уравнения следует, что меняющееся во времени магнитное поле порождает замкнутое электрическое поле. Остановимся на этом следствии более подробно.

В низкочастотной электронике принято считать, что источником электрического поля служат электрические заряды. В этом случае силовые линии поля исходят с поверхности заряда или сходятся на нем. Система уравнений Максвелла это не отвергает, указанное свойство отражено в третьем уравнении, однако помимо этого может существовать такая конфигурация электрического поля, когда его силовые линии замкнуты сами на себя, аналогично магнитным силовым линиям. Подобное поле может существовать только в динамике, и чем быстрее происходит изменение магнитного поля, тем благоприятнее условия для возникновения электрического. Именно поэтому на низких частотах полевые эффекты практически не проявляются и ими можно пренебречь. Наличие кольцевого электрического поля создает возможность для возникновения и распространения радиоволн. Поясню это на следующем примере: допустим, у нас имеется проводник, по которому протекает высокочастотный ток. Вокруг этого проводника, следовательно, будет существовать быстро изменяющееся магнитное поле. Это, в свою очередь, приведет к возникновению кольцевого электрического поля, меняющегося с той же частотой. Последнее породит магнитное поле, и так до бесконечности. Исходный проводник с током, являющийся антенной, тoлько инициирует процесс, а дальше все происходит само собой. Энергия электрического поля переходит в магнитную энергию, и наоборот. Причем весь этот процесс не стоит на месте, а распространяется с максимально допустимой скоростью — 300 000 км/сек.

И, наконец, последнее уравнение Максвелла указывает на отсутствие в природе одиночных магнитных зарядов. Последнее обстоятельство вносит некоторую асимметрию в систему уравнений. Действительно, если в электростатике имеются положительные и отрицательные заряды, способные существовать независимо друг от друга, то магнитные полюса неразделимы, как сиамские близнецы. На какие бы мелкие части мы ни дробили постоянный магнит, мы никогда не получим отдельно S или N полюс. Подобная асимметрия, как бы демонстрирующая приоритет одного поля над другим, смущала многих физиков с момента появления рассматриваемых уравнений. Попытки обнаружить отдельный магнитный полюс никогда не прекращались и предпринимаются до сих пор. И не только из праздного научного любопытства. Если бы удалось на практике разделить магнитные полюса, это совершило бы такую революцию в технике, масштабы которой трудно даже представить.

Заканчивая с разбором уравнений Максвелла, совершим небольшой экскурс в историю. В середине прошлого века, когда были получены эти уравнения, о существовании электромагнитных волн еще никто не подозревал. Эти уравнения как бы обобщали и сводили воедино все, что было известно физикам того времени об электричестве и магнетизме. Лишь в результате анализа полученных уравнений Максвелл пришел к выводу о наличии в природе электромагнитных волн и о скорости их распространения, в точности совпадающей с известной к тому времени скоростью света. На основании этого была высказана гипотеза об электромагнитной природе видимого света, подтвержденная дальнейшими исследованиями.

Примерно такая же ситуация возникла при открытии Менделеевым его Периодической таблицы, предсказавшей существование в природе многих химических элементов, до той поры неизвестных науке. Уместно в этой связи привести слова немецкого физика Генриха Герца, посвященные теории Максвелла: "Нельзя изучать эту удивительную теорию, не испытывая по временам такого чувства, будто математические формулы живут собственной жизнью, обладают собственным разумом, — кажется, что эти формулы умнее нас, умнее даже самого автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них заложено". И действительно, мог ли предположить Максвелл, какой переворот в жизни людей совершит практическая реализация изобретений, в основе которых лежат четыре его уравнения.

## 1.2. Элементы микроволновой техники

Вполне понятно, что специфика СВЧ излучения накладывает свой отпечаток и на компоненты, из которых строятся электрические схемы. Мы рассмотрим только те из них, которые в той или иной мере встречаются в микроволновых печах.

### *Волноводы*

Для передачи энергии от генератора к нагрузке в СВЧ диапазоне используются волноводы. Волновод представляет собой полую, металлическую трубу, как правило, круглого или прямоугольного сечения (рис. 1.3).

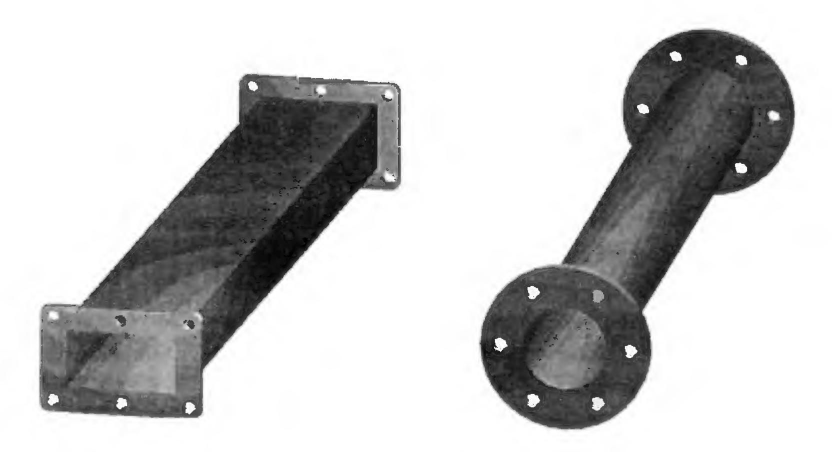


**Рис. 1.3. Внешний вид прямоугольного и круглого волноводов**

Электромагнитная энергия передается по волноводу примерно так же, как вода по водопроводной трубе. В принципе, водопроводная труба, если ее тщательно очистить от грязи и накипи, вполне может быть использована и для транспортировки электромагнитных волн. Продолжая аналогию, можно заметить, что в местах протечки воды может просачиваться и электромагнитная энергия, поэтому сочленение отрезков волноводов необходимо производить как можно плотнее. На этом, пожалуй, сходство заканчивается, и начинаются различия. Глядя на рисунок, нетрудно понять, что изготовление волноводов вещь не простая и дорогостоящая. В отличие от ржавых внутренностей водопроводной трубы внутренняя поверхность волноводов часто полируется и покрывается тонким слоем серебра. Очевидно, что переход с обычной двухпроводной линии на волноводы произошел не с целью экономии средств. Остановимся более подробно на причинах такого перехода. Как уже отмечалось, с повышением частоты возрастает доля мощности, теряемой на излучение. Кроме того, что это плохо само по себе, это приводит к засорению эфира радиопомехами и отрицательно сказывается на здоровье радио- и электронных устройств. Поэтому уже в метровом диапазоне передача сигналов осуществляется по коаксиальному кабелю, представляющему собой двухпроводную линию, у которой один проводник выполнен в виде экранирующей оплетки, предотвращающей излучение энергии. Однако при дальнейшем повышении частоты возрастают потери, связанные с затуханием сигнала в материале, заполняющем пространство между центральной жилой и оплеткой кабеля. При достаточно высокой частоте и большой передаваемой мощности это приводит к перегреву кабеля и выходу его из строя. Например, коаксиальный кабель РК-75 с полиэтиленовым наполнением и длиной 10 м на частоте 3 ГГц теряет 84% передаваемой мощности. Медный прямоугольный волновод при тех же условиях теряет всего около 5% мощности. Используя в качестве наполнителя материалы с малым затуханием, можно повысить уровень допустимой передаваемой мощности, а поскольку наименьшими потерями обладает воздушное заполнение, то кабель естественным образом трансформируется в коаксиальный волновод. Конструктивно последний уже ничем не проще волноводов, изображенных на рис. 1.3, скорее даже наоборот, поэтому выбор типа волновода определяется уже не экономической целесообразностью, а различием в их характеристиках. Может возникнуть вопрос, откуда вообще берутся потери в волноводе, если он изготовлен из меди с площадью поперечного сечения в десятки миллиметров? Ответ заключается в том, что токи текут не по всему сечению волновода, а лишь там, куда проникает электромагнитное поле по так называемому скин-слою. Глубина скин-слоя зависит от частоты и удельной проводимости металла, из которого изготовлен волновод. Она вычисляется по формуле:

$$\delta[\text{мкм}] = 0.016\sqrt{\frac{1}{f[\text{ГГц}]\cdot\sigma[1/\text{Ом}\cdot\text{м}]}}$$

К примеру, на частоте 2.45 ГГц глубина проникновения поля составляет от 1.3 мкм для меди до 10 мкм для нержавеющей стали. Поэтому общая площадь поперечного сечения, по которому проходит ток, относительно невелика. Большое значение имеет качество внутренней поверхности волновода. Чем выше шероховатость стенок волновода, тем длиннее путь СВЧ токов и тем быст-

рее происходит затухание волны. Поэтому для снижения потерь волноводы иногда полируют и покрывают тонким слоем серебра, на глубину скин-слоя.

В СВЧ технике встречаются волноводы с различным профилем поперечного сечения: П-образные, Н-образные, круглые, овальные и т.д. В микроволновых печах используются только прямоугольные волноводы, поэтому мы ими и ограничимся.

В целом конфигурация поля в волноводе может иметь очень сложную форму. К счастью, теория дает механизм, позволяющий свести сложную структуру поля к набору относительно простых типов, из которых, при желании, можно воссоздать любую конфигурацию существующих в волноводе полей. Прежде чем начать анализ типов, существующих в прямоугольном волноводе, сформулируем некоторые правила, которые вытекают из теории электромагнитных колебаний.

1. Электрические и магнитные силовые линии в электромагнитных полях взаимно перпендикулярны.
2. Магнитные силовые линии замкнуты и охватывают проводник с током или переменное электрическое поле.
3. Электрические силовые линии или идут от одного электрического заряда к другому, или подобно магнитным линиям замкнуты и охватывают переменное магнитное поле.
4. Изменение электромагнитного поля во времени и в пространстве, вдоль произвольного направления, в однородной среде, происходит по синусоиде или косинусоиде.
5. При нормальном отражении волны от проводящей поверхности (т.е. когда направления падающей и отраженной волн прямо противоположны) ее фаза изменяется на 180°.
6. Магнитные силовые линии у поверхности проводника всегда параллельны этой поверхности.
7. Электрические силовые линии не могут идти вдоль поверхности проводника, а всегда перпендикулярны этой поверхности.

Два последних свойства определяют структуру поля у поверхности проводника, т.е. на границе между проводником и областью распространения электромагнитной волны. Поэтому их называют "граничными условиями". Электромагнитное поле всегда имеет такую структуру, при которой выполняются эти условия.

При распространении волн в волноводе вдоль поперечных координат устанавливаются так называемые стоячие волны. В данном случае название говорит само за себя. Хотя структура волны в поперечном направлении может быть точной копией структуры волны в продольном направлении, между ними, как говорят в Одессе, есть две большие разницы. В первом случае поле статично и никакого движения вдоль поперечных координат не наблюдается, меняется лишь амплитуда поля, а во втором случае картина поля все время сдвигается в сторону распространения волны со скоростью v.

Распространяемые по волноводу электромагнитные волны условно можно разделить на два основных типа. Волны, имеющие составляющую электрического поля вдоль направления распространения и не имеющие магнитной, относятся к Е-типу. И наоборот, волны, имеющие магнитную составляющую вдоль направления распространения и не имеющие электрической, относятся к Н-типу. Каждый тип волны обозначается соответствующей буквой с индексом из двух цифр, показывающим число стоячих полуволн вдоль большей и меньшей сторон поперечного сечения волновода. Таким образом, по названию волны можно определить соответствующую ей структуру поля.

Если размеры обеих поперечных координат меньше, чем длина полуволны, то через такой волновод волна распространяться не может. В этом случае говорят, что волновод является запредельным для данного типа волны.

Наибольшая длина волны, которая может распространяться по волноводу, называется критической. При фиксированных размерах волновода критическая длина волны зависит от ее типа. Ниже приведена формула для ее расчета.

$$\lambda_{КР}=\frac{2}{\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}}}$$

Как видно из формулы, чем выше индексы m и n, тем больше должны быть поперечные размеры волновода, при которых возможно распространение данного типа. Это обстоятельство облег-

чает селекцию типов, поскольку на рабочей длине волны всегда можно так подобрать размеры a и b, чтобы распространялись только нужные типы волны. На практике в качестве рабочего обычно используется тип $H_{10}$, изображенный на рис. 1.4. Для большей наглядности на рисунке также приведены графики распределения электрического и магнитного полей вдоль широкой стенки. Равенство нулю второго индекса в названии волны говорит о том, что вдоль узкой стенки поле не меняется. Обратите внимание, что отсутствует не само поле, а лишь его изменение. Таким образом, размер b не влияет ни на структуру распределения полей в волноводе, ни на его критическую частоту. Практически из этого следует, что даже очень узкая щель, шириной более λ/2, может рассматриваться как волновод, проводящий СВЧ энергию с минимальными потерями.

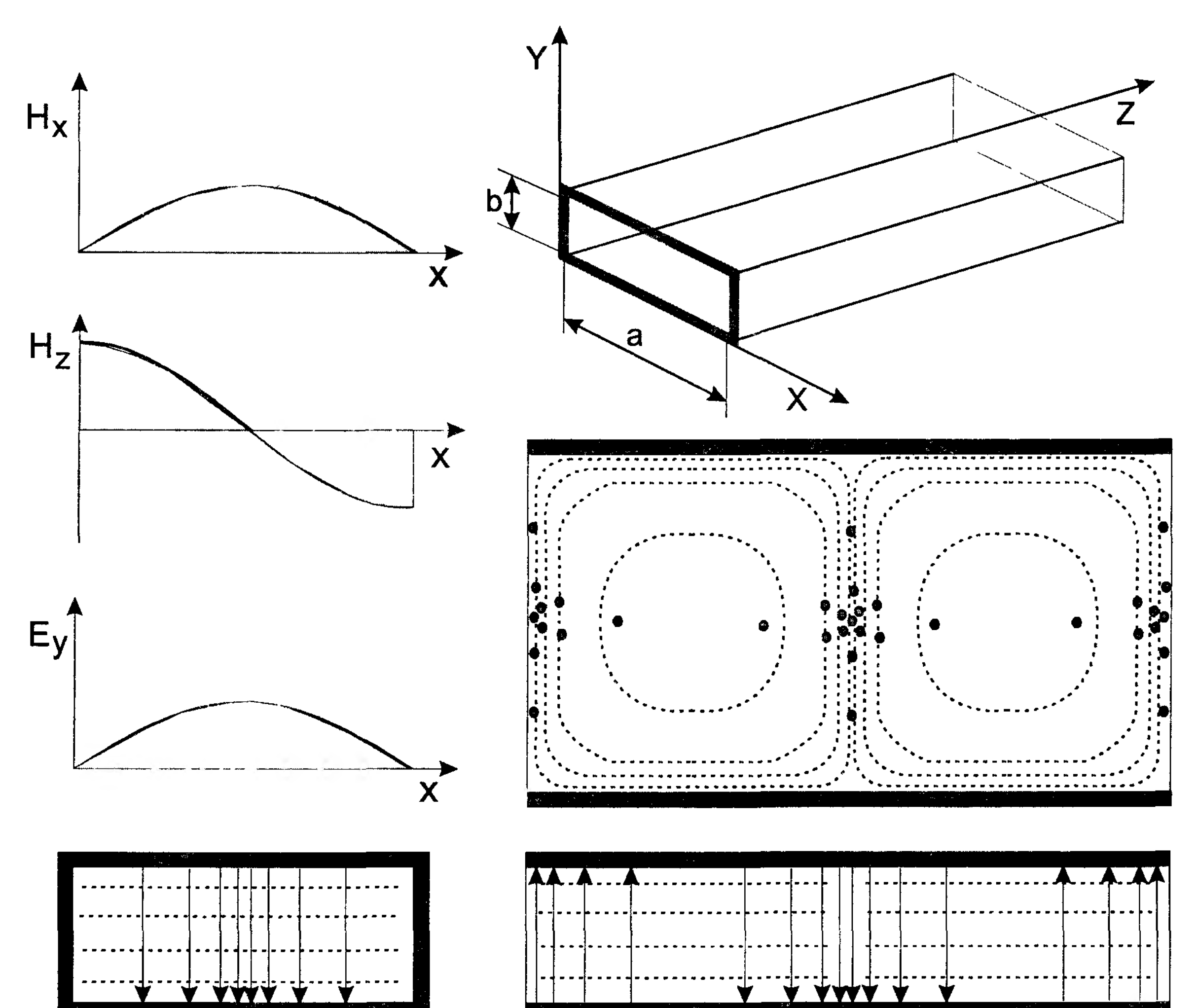



**Рис. 1.4. Структура электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для волны типа $H_{10}$**

Столь тщательное рассмотрение этого типа не случайно, поскольку он является основным для прямоугольного волновода. Можно даже сказать, основным в квадрате, поскольку, во-первых, это рабочий тип волны для подавляющего большинства задач, в частности именно этот тип используется в микроволновых печах, а во-вторых, он основной по определению. Для волноводов произвольного поперечного сечения основным называется наиболее низкочастотный тип волны. Все остальные — это высшие типы, как правило, являющиеся паразитными. Основные преимущества данного типа волны состоят в следующем:

1. Наименьшие размеры волновода, при заданной длине волны.
2. Простая конфигурация поля и, как следствие, простота при его возбуждении и при согласовании волновода с нагрузкой или другими устройствами.
3. Относительная удаленность от других типов, что облегчает его селекцию.

Как известно, все познается в сравнении, поэтому не лишним будет вкратце рассмотреть и некоторые другие типы волн. Если постепенно увеличивать частоту, излучаемую через волновод,

т.е. уменьшать длину волны, то в определенный момент вдоль широкой стенки волновода сможет уместиться две стоячие полуволны. Тогда создадутся условия для возникновения типа $H_{20}$. При дальнейшем увеличении частоты появятся типы $H_{01}$, $H_{11}$, $E_{11}$ и т.д. Структура полей для типов, ближайших к основному, показана на рис. 1.5. Анализируя эти типы, не трудно выявить определенные закономерности в структуре полей и, при желании, построить типы с более высокими индексами.

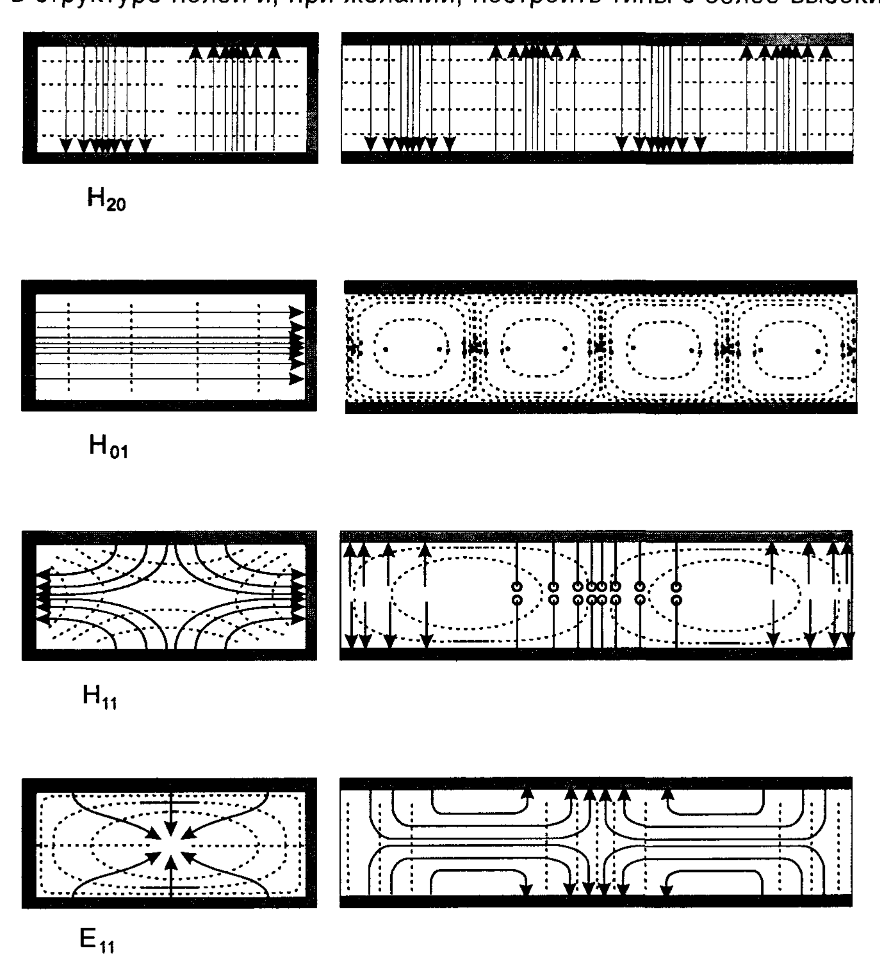



**Рис. 1.5. Структура ближайших к основному типов волн в прямоугольном волноводе**

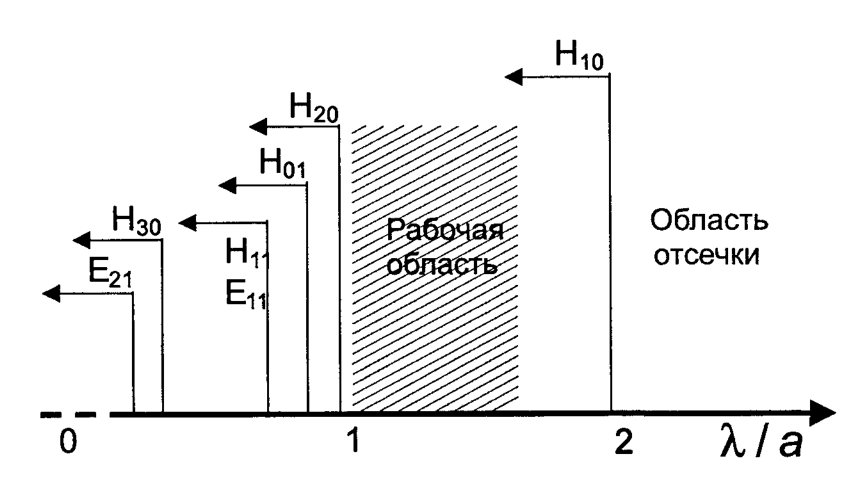



**Рис. 1.6. Критические длины волн прямоугольного волновода (стрелки указывают области, в которых указанные типы волн могут распространяться по волноводу)**

На рис.1.6 представлена диаграмма распределения критических длин волн, наиболее близких к основному типу. У стандартных волноводов, как правило, выполняется соотношение b/a<0.5, поэтому ближайшим к основному является тип $H_{20}$. При этом расстояние между критическими длинами волн основного типа и всеми последующими увеличивается.

Заштрихованный участок показывает область длин волн, рекомендованных к использованию, поскольку в этом случае будет распространяться единственный тип $H_{10}$. Данный участок не примыкает непосредственно к области отсечки. Это не случайно. Дело в том, что распространение электромагнитных волн в замкнутых системах, какой и является волновод, отличается от их распространения в свободном пространстве. Это, в частности, проявляется в том, что скорость распространения электромагнитной энергии в волноводе меньше чем скорость света. Различие наиболее ощутимо в окрестности критической длины волны. Замедление скорости электромагнитных волн увеличивает потери энергии в стенках волновода. На рис. 1.7 показана зависимость затухания в волноводе от частоты, из которой видно, что при частотах, близких к критической, потери возрастают во много раз.

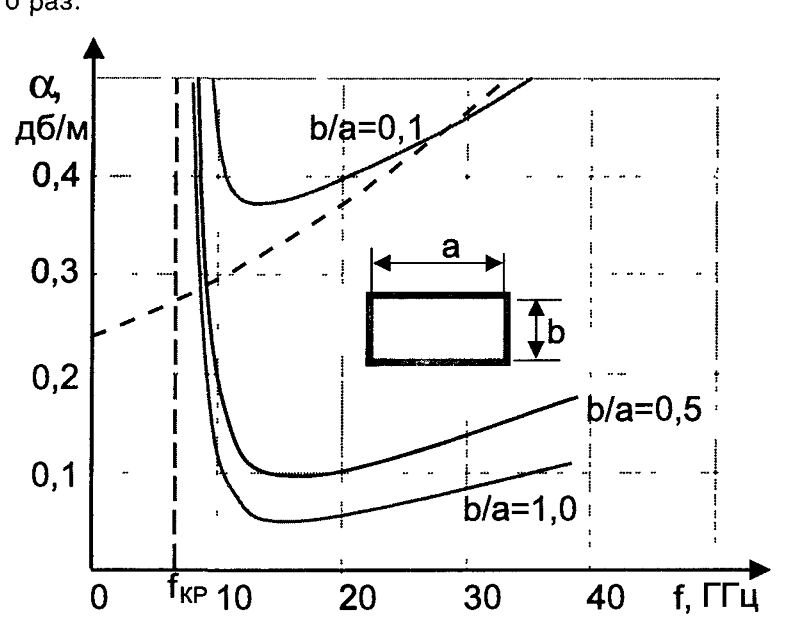



**Рис. 1.7. Зависимость потерь в стенках прямоугольного волновода от частоты (штриховой линией отмечен коаксиальный волновод с той же площадью поперечного сечения)**

Попутно заметим, что рост потерь при увеличении частоты связан с уменьшением толщины скин-слоя. Пунктирной линией для сравнения показана аналогичная зависимость для коаксиального волновода с той же площадью поперечного сечения. Как видим, сравнение не в пользу последнего, если не считать узкой полоски вблизи критической частоты. Именно поэтому этот участок и не используется на практике.

Длина волны в волноводе $\lambda_В$ больше длины той же самой волны в свободном пространстве. Эта разница тем ощутимее, чем ближе $\lambda_В$ расположена к $\lambda_{КР}$. Ниже приведена формула для расчета $\lambda_В$, которая может быть полезна при расчете и анализе различных волноводных устройств.

$$\lambda_В = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon\mu - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{КР}}\right)^2}}$$

При воздушном заполнении волновода — $\varepsilon\mu=1$ и формула слегка упрощается.

### *Возбуждение волноводов*

Возбуждение волн в волноводе можно осуществить с помощью устройства, создающего в некотором сечении волновода переменное электрическое или магнитное поле, совпадающее по конфигурации силовых линий с полем волны требуемого вида. Возбуждение волн происходит также при создании в стенках волновода СВЧ токов, совпадающих с токами волны желаемого типа. Сразу оговоримся, что любое устройство, служащее для возбуждения волн, с таким же успехом может использоваться для их приема.

При передаче энергии от генератора к нагрузке, большое значение имеет согласование передающего тракта. Под согласованием понимается способность передающей линии обеспечить

из наиболее сложных задач при проектировании микроволновых систем, особенно большой мощности. Любые неоднородности в тракте, к числу которых относятся и элементы возбуждения, и сама нагрузка, способны привести к отражению мощности обратно к генератору. Помимо того, что это снижает выходную мощность и КПД системы, отраженная энергия неблагоприятно воздействует на генератор и при большом рассогласовании может вывести его из строя.

Обычно, энергия от генератора поступает по коаксиальной линии. Подключение ее к волноводу осуществляется либо в виде магнитной петли связи, либо в виде электрического штыря (рис. 1.8).

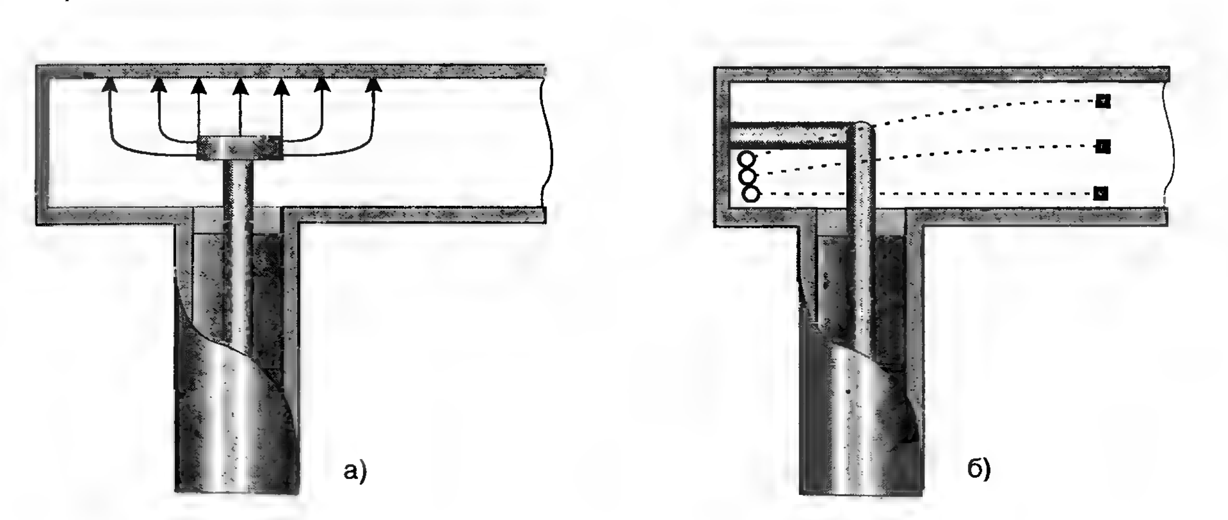



**Рис. 1.8. Емкостной (а) и индуктивный (б) способы возбуждения волновода**

Магнитная петля связи, как правило, располагается в месте, где магнитное поле наиболее сильно, причем ее плоскость перпендикулярна магнитным силовым линиям. Подобный вид связи, в частности, используется внутри магнетрона для отбора энергии от его колебательной системы.

Электрический штырь размещается в максимуме электрического поля, вдоль его силовых линий. Во многих случаях штырем служит продолжение внутреннего провода коаксиальной линии или вывод энергии генераторного прибора. Такой тип возбуждения используется в большинстве микроволновых печей Обычно в них мощность от магнетрона попадает в рабочую камеру через небольшой отрезок прямоугольного волновода. Оказывается, проще согласовать магнетрон с волноводом, а затем волновод с рабочей камерой, чем непосредственно магнетрон с камерой.

Возбуждение волновода не такой простой вопрос, как может показаться на первый взгляд. Наибольшие сложности возникают при согласовании, в микроволновых печах в особенности, поскольку нагрузка в этом случае может меняться в широких пределах. Практически невозможно согласовать магнетрон с рабочей камерой таким образом, чтобы и при максимальной загрузке печи и при практически пустой камере отражаемая мощность находилась в допустимых пределах (не более 25 — 30%). Поэтому во всех руководствах к микроволновым печам оговаривается минимальная загрузка камеры (около 200 г). Аналогичные сложности возникают при попытке замены магнетрона одного типа на другой, даже если основные электрические параметры у них практически одинаковы. Если имеются отличия в геометрических размерах вывода энергии, могут возникнуть проблемы, непредвиденные для непосвященных. Для посвященных проблемы останутся, но статус их изменится. Они станут ожидаемыми и во многих случаях устранимыми. Рассмотрим более детально возбуждение электромагнитных волн в волноводе. Типичная конструкция подключения магнетронного генератора к волноводу показана на рис. 1.9а.

Вывод энергии магнетрона по своей сути — это антенна в виде электрического штыря, являющегося продолжением внутренней жилы коаксиального волновода. Прямоугольный волновод с одной стороны закорочен металлической стенкой, расположенной на расстоянии примерно в четверть длины волны. Размеры штыря и расстояние до короткозамыкающей стенки являются ключевыми при согласовании генератора с волноводом. Известно, что оптимальная длина антенны в свободном пространстве равна $\lambda/4$. В нашем случае это чуть более 3 см. Длина антенны в волноводе должна быть несколько ниже этого значения, поскольку электрическая емкость, образованная верхней крышкой волновода и торцом антенны, увеличивает эффективную длину последней. Другими словами, увеличение торцевой емкости антенны эквивалентно некоторому увеличению ее длины. Последний вариант менее предпочтителен, поскольку, во-первых, создает у острия антенны

высокую напряженность поля, что может привести к электрическим пробоям, во-вторых, увеличивает локальный разогрев антенны и, наконец, требует большей высоты волновода. Обычно вывод магнетрона оканчивается медным колпачком шириной около 1.5 см. Это увеличивает торцевую емкость, поэтому длина антенны может быть несколько ниже чем λ/4. Форма и размеры колпачков, а также длина антенны у разных магнетронов могут отличаться друг от друга. Это связано с тем, что каждый магнетрон рассчитан на работу с волноводом определенных размеров. Поэтому при замене магнетронов важно это учитывать и стараться подбирать замену не только в соответствии с электрическими параметрами, но и с одинаковыми выводами энергии.

Теперь рассмотрим, какое значение имеет расстояние L между торцевой стенкой волновода и выводом энергии магнетрона. Как было сказано ранее, это расстояние примерно равно λ/4. Вначале, для простоты, допустим, что вывод энергии не нарушает структуру поля в волноводе. В соответствии с граничными условиями электрическое поле распределится в волноводе по синусоиде. Штырь магнетрона будет излучать электромагнитные волны во всех направлениях. Назовем волну, движущуюся в нужном направлении, т.е. к нагрузке, — прямой волной, а волну, движущуюся в противоположном от желаемого направлении — обратной. Обратная волна после зеркального отражения от металлической стенки изменит свою фазу на 180°. Поскольку на ее движения к стенке и обратно уйдет половина периода, или еще 180°, то в тот момент, когда отраженная волна достигнет штыря, ее фаза, сделав полный оборот на 360° будет такой же, как и у прямой волны. Поэтому они сложатся и с удвоенной мощностью дружно устремятся в камеру микроволновой печи.

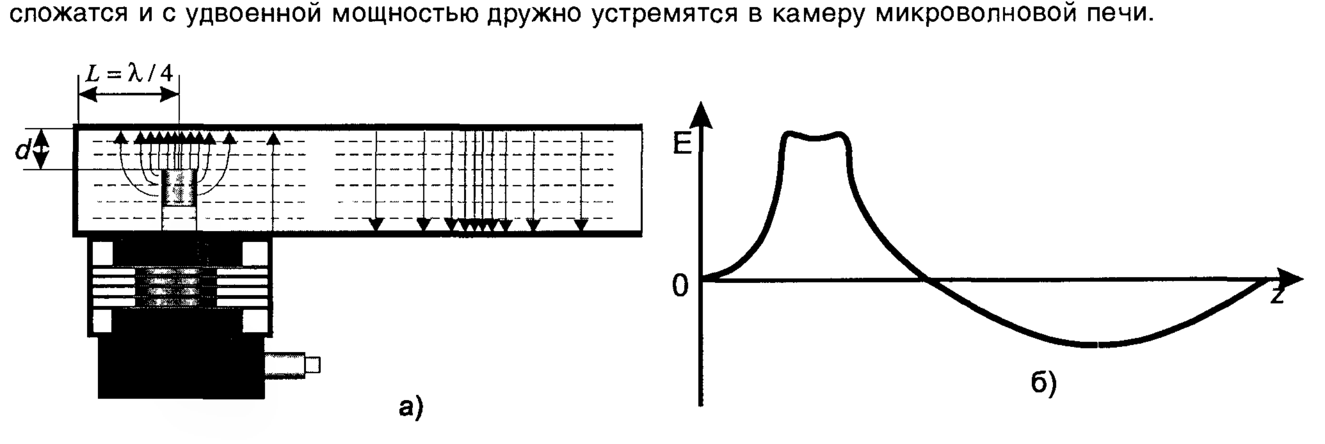



**Рис. 1.9. Подключение магнетрона к волноводу (а) и распределение напряженности электрического поля в волноводе (б)**

Теперь предположим, что расстояние L будет не λ/4, а λ/2. В этом случае отраженная от стенки волна, возвратясь к штырю, окажется в противофазе с прямой. Эти волны взаимно уничтожатся, распространения энергии вдоль нужного направления не произойдет, и пирожки в камере останутся холодными. Но, как вывел еще Михайло Ломоносов, ничто не исчезает бесследно. Не сумев пробиться в камеру, микроволновая энергия отправится обратно в магнетрон и будет там вершить свои черные дела.

Мы рассмотрели два крайних случая — наилучший и наихудший. Любое другое расположение штыря даст промежуточный результат, т.е. часть энергии уйдет на нагрев пирожков, а часть — на нагрев магнетрона.

В наших рассуждениях мы предполагали, что штырь не изменяет структуру поля. Однако как вы, безусловно, догадываетесь, это далеко не так. Вносимая штырем емкость нарушает синусоидальную форму распределения электрического поля вблизи него. Поле будет концентрироваться в основном внутри этой емкости, и идеальная синусоида трансформируется в реальную картинку на рис. 1.9б.

Теперь перейдем к практическим выводам, которые вытекают из предыдущего материала. Если при замене магнетрона происходит изменение емкости, из-за большей или, наоборот, меньшей длины вывода энергии, то неизбежно произойдет рассогласование, следствием которого может оказаться перегрев магнетрона и слабый нагрев в камере микроволновой печи. В принципе, в некоторых случаях это можно устранить. Например, изменив емкость или сместив магнетрон относительно торцевой стенки. Но лучше этого не делать, поскольку результат подобных действий без специального оборудования трудно отследить, а заранее вычислить необходимые корректировки практически невозможно. Самый простой и надежный способ — это подобрать новый магнетрон с такой же высотой вывода энергии, как и у старого.

### *Запредельные волноводы, диафрагмы*

Если поперечные размеры волновода меньше критической длины волны, то такой волновод называется запредельным. Распространения энергии через него не происходит. Необходимо помнить, что термин "запредельный" всегда относителен. Всякий волновод является запредельным для одних частот и обычным для других. Поэтому, когда говорят "запредельный", всегда подразумевается рабочая частота, для которой волновод таковым является. С помощью подобного волновода можно обеспечить доступ к области, в которой сосредоточено электромагнитное поле, и в то же время избежать утечки энергии.

Несмотря на то что распространение энергии в запредельном волноводе отсутствует, переменные электрическое и магнитное поля существуют. Силовые линии поля как бы втягиваются в полость волновода. Амплитуда этих полей убывает по экспоненте по мере удаления от входа. Количественно степень убывания поля снижается примерно в 1000 раз при удалении от входа на расстояние, равное $\lambda_{кр}$. В свою очередь, критическая длина волны примерно вдвое превышает диаметр круглого волновода. Поэтому если, например, мы имеем отверстие диаметром 1 мм в металлической стенке толщиной 2 мм, то напряженности полей на противоположных концах этого отверстия будут отличаться, примерно, в 1000 раз. Но это еще не значит, что одна тысячная доля СВЧ мощности будет излучаться в окружающее пространство. Для того чтобы это произошло, необходимо непосредственно у отверстия иметь какой-нибудь приемник микроволнового излучения, например коаксиальный кабель с петлей связи на конце. При его отсутствии лишь очень малая часть энергии, сосредоточенной у выходного отверстия, будет излучаться наружу. Практически, для тех соотношений размеров, которые приведены в нашем примере, можно считать, что излучение отсутствует полностью.

Камера микроволновой печи содержит большое количество различных отверстий, предназначенных для освещения, конвекции воздуха, визуального наблюдения и т.д. Поэтому важно знать, при каких условиях обеспечивается достаточная экранировка камеры. Насколько правомерно считать отверстие в камере запредельным волноводом, если его продольные размеры значительно меньше $\lambda_{кр}$? Предположим, что толщина стенки близка к нулю. Такое отверстие уже просто неприлично называть волноводом, поэтому будем называть его диафрагмой, как принято в технической литературе по СВЧ. Соответственно условие $\lambda>\lambda_{кр}$ уже не может быть достаточным для надежной экранировки. Расчет поля проникающего сквозь диафрагму довольно сложен, поэтому мы рассмотрим лишь некоторые факты, которые позволят как-то ориентироваться в уровне излучения сквозь отверстия в камере микроволновой печи. Практика показывает, что излучение превышающее допустимый уровень, возникает, когда диаметр круглого отверстия составляет примерно 15 — 20 мм. Поле, возбуждаемое круглой диафрагмой, пропорционально кубу ее радиуса. Поскольку излучение из нескольких отверстий примерно пропорционально их числу, то замена одного большого отверстия несколькими малыми, с той же площадью поперечного сечения, приводит к ослаблению поля в $\sqrt{n}$ раз. Этот факт используется при проектировании окон в микроволновых печах, которые изготавливаются в виде мелкоперфорированной сетки. Попутно заметим, что уменьшение диаметра ячеек сетки положительно сказывается и на дизайне микроволновой печи.

Если диафрагма представляет собой не круглое, а щелевое отверстие, то большое значение имеет его пространственная ориентация. Узкая щель не излучает, если она располагается вдоль линий тока, как это показано на рис. 1.10. Иначе говоря, излучение сквозь щель возникает только тогда, когда она прерывает линии тока на поверхности проводника. Сказанное относится к узкой щели, ширина которой значительно меньше длины волны возбуждающих колебаний.

Значительное повышение излучения сквозь диафрагму может произойти, если непосредственно вблизи отверстий расположены какие-либо провода или иной проводящий мусор. Особенно если сквозь отверстие проходит отрезок проводника. Это может быть забытый при ремонте или сборке винт, шуруп, кусок провода и т.д. В этом случае диафрагма может превратиться в отрезок коаксиального волновода, для которого не существует ограничений на диаметр, и излучаемая мощность может увеличиться в сотни раз. Отсюда вывод: чистота — залог здоровья.

### *Резонаторы*

Если в волноводе на рис. 1.9 на пути распространения электромагнитной волны поставить металлическую стенку, то волна отразится от нее и двинется в обратном направлении. Дойдя до противоположной стенки, она вновь отразится, и этот процесс будет повторяться до тех пор, пока из-за потерь энергии в стенках волновода волна окончательно не затухнет. Если при этом фазы многократно отраженных от стенок волн будут совпадать, то эти волны, взаимно усиливая друг дру-

га, могут в сотни раз увеличить напряженности электромагнитных полей в рассматриваемой области.

Как известно из физики, суммирование одинаковых по частоте и амплитуде волн, движущихся в противоположных направлениях, дает в итоге стоячую волну. Поэтому в рассматриваемом объеме структура полей вдоль продольной оси будет подобна структуре полей вдоль остальных координат. Это утверждение не очевидно, и некоторым читателям может показаться сомнительным. В качестве доказательства можно привести пример, часто наблюдаемый в природе. Стоя у каменной набережной, можно заметить, как волны, направленные к берегу, складываясь с отраженными от гранитных стен, создают иллюзию полного отсутствия продольного движения. Волны поднимаются и опускаются, находясь на одном и том же месте и никуда не двигаясь. По этому поводу хорошо сказал "большой ученый" Козьма Прутков: "Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою".

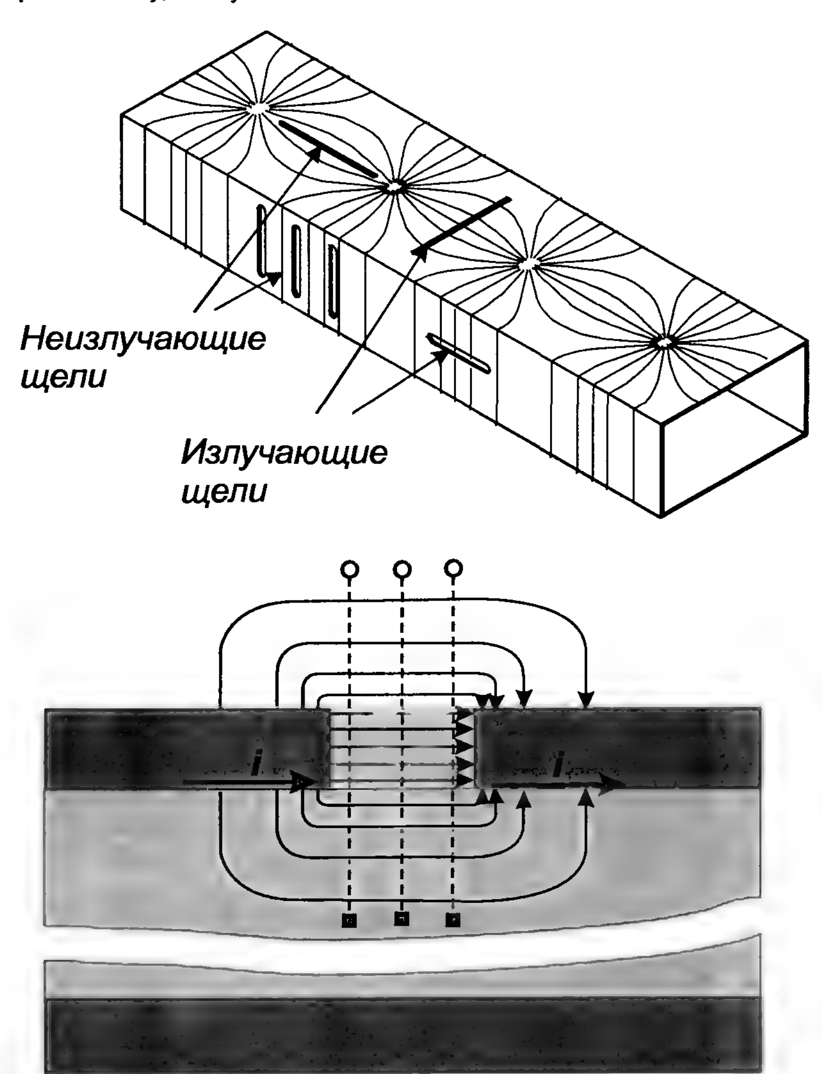



**Рис. 1.10. Влияние ориентации щелей в волноводе на их излучающую способность (распределение токов на внутренней поверхности волновода показано для волны типа $H_{10}$)**

Явление, при котором устанавливается режим стоячих волн, называется резонансом, а устройство, где все это происходит, — резонатором. Геометрическое тело, образованное нами в результате манипуляций с волноводом, есть не что иное, как призма; соответственно подобные резонаторы называются призматическими. Разумеется, призматическая форма не является обязательным атрибутом резонатора. Любой объем, ограниченный со всех сторон проводящей поверхностью, может рассматриваться как резонатор. Однако на практике стремятся использовать простые формы, поскольку их параметры могут быть просчитаны аналитически. Более сложные формы требуют расчетов с помощью специальных численных методов на мощных компьютерах, причем время, требуемое для расчета только резонансных частот, может измеряться часами. Но

никакой компьютер не поможет, если резонатор имеет форму, не поддающуюся математическому описанию. В этом случае помочь может только эксперимент, то есть вы изготавливаете резонатор замысловатой формы, который, на ваш взгляд, должен обладать превосходными свойствами, включаете — не работает; вносите коррективы, включаете — не работает. И так до тех пор, пока не добьетесь требуемого результата или пока не лопнет ваше терпение и вы не решите, что лучше заняться выращиванием кактусов.

Аналогом резонатора в радиотехнике служит колебательный контур. Этапы постепенного преобразования резонатора в контур по мере увеличения резонансной частоты показаны на рис. 1.11.

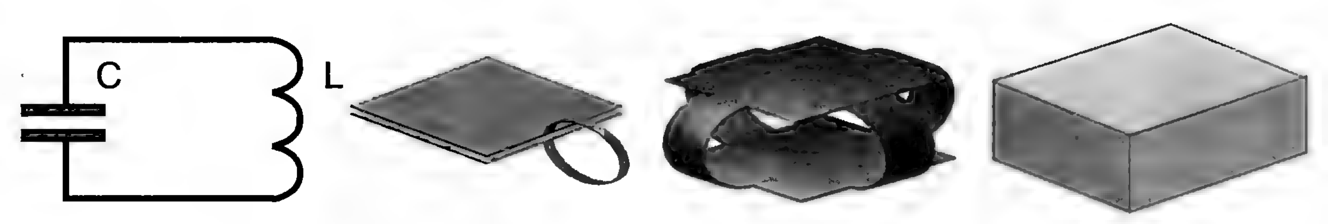



**Рис. 1.11. Последовательный переход от колебательного контура к резонатору по мере увеличения частоты**

Частота колебательного контура вычисляется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

где L — индуктивность катушки контура, а C — емкость конденсатора.

С повышением резонансной частоты контура значения величин L и C уменьшаются. Конструктивно это выглядит как раздвижение пластин конденсатора и снижение количества витков катушки сначала до одного, а затем до нескольких, параллельно включенных полувитков, которые в пределе сливаются в единую замкнутую полость. Как и в контуре, основными параметрами резонатора являются резонансные частоты и добротность. Рассмотрим каждый из этих параметров в отдельности применительно к призматическому резонатору, как наиболее нас интересующему. Мы получили его из волновода, поэтому вполне естественно, что часть свойств волновода будет присуща и призматическому резонатору. Множество типов волн, существующих в волноводе, трансформируется в стоячие волны резонатора, которые образуют множество видов колебаний. По аналогии с прямоугольным волноводом, виды колебаний призматического резонатора обозначаются путем добавления к типу волны еще одного индекса, указывающего количество стоячих полуволн вдоль продольной координаты. Собственно понятия продольной и поперечной координат для резонатора теряют смысл, поскольку структура полей в любом направлении зависит только от вида колебаний и геометрических размеров сторон. Ни одно из направлений нельзя выделить как приоритетное. При этом следует помнить, что обозначение вида колебаний связано с определенной ориентацией призматического резонатора. Например, один и тот же вид может рассматриваться как $H_{110}$, $H_{101}$, $H_{011}$ в зависимости от выбранной системы координат.

Каждый вид колебаний в резонаторе характеризуется собственной резонансной частотой и добротностью. Аналогично волноводу, самый низкочастотный вид называется основным, остальные — высшими видами. На практике обычно используется основной вид, по тем же причинам, что и в случае волновода. Камера микроволновой печи, которую можно рассматривать как призматический резонатор, — это как раз то редкое исключение из правила, которое подтверждает само правило. Дело в том, что резонансные явления в камере, скорее, вынужденная необходимость, чем желательное явление. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе “Камера микроволновой печи”.

Длины волн резонаторных видов колебаний вычисляются по формуле, напоминающей формулу для расчета критических длин волн в волноводе:

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} + \frac{p^2}{l^2}}}$$

Как и в волноводе, в резонаторе существуют Е и Н виды колебаний. Но, как следует из приведенной формулы, резонансная частота зависит только от индексов вида колебаний, а не от типа волны. Например, колебания видов $E_{111}$ и $H_{111}$ будут происходить на одной и той же частоте. В этом случае говорят, что данные виды колебаний являются вырожденными. Реальная картина поля в резонаторе будет представлять собой коктейль из этих видов. Преобладание колебаний того или иного вида будет связано только с условиями возбуждения.

Ранее была отмечена аналогия между резонатором и колебательным контуром. Но есть существенная разница между видами колебаний в резонаторе и гармониками контура. Природа этих различий кроется в пространственной форме колебаний в резонаторе, в то время как в контуре электромагнитная энергия может дви"аться только в одном направлении — вдоль проводника с током. Поэтому гармоники всегда кратны основной частоте, а в резонаторе все определяется соотношением индексов m, n, p, различные сочетания которых позволяют получать большое разнообразие видов колебаний, частоты которых могут располагаться на любом расстоянии от основной частоты. На рис. 1.12а показан спектр резонансных частот для резонатора с поперечными размерами 200x300x400 мм, то есть примерно соответствующим камере микроволновой печи. Как нетрудно заметить, чем дальше мы удаляемся в сторону более высоких частот, тем гуще расположены резонансные частоты. В пределе они сливаются в сплошной спектр. Штриховой линией отмечена рабочая частота микроволновых печей. Несмотря на то, что возможна ситуация, когда непосредственно на рабочей частоте нет ни одного резонанса, в камере они будут возбуждаться в большом количестве. Чтобы понять, каким образом это происходит, необходимо вначале рассмотреть второй основной параметр резонатора — добротность.

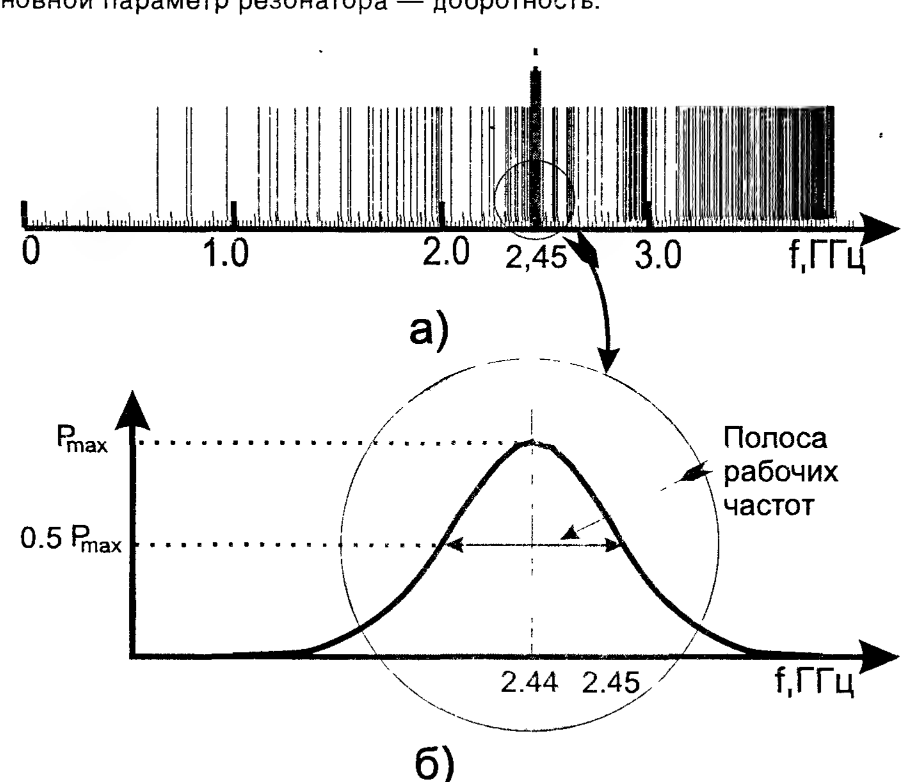



**Рис. 1.12. Спектр резонансных частот камеры микроволновой печи с поперечными размерами 200x300x400 мм (а), и амплитудно-частотная характеристика резонанса вблизи рабочей частоты (б)**

Как уже отмечалось, при резонансе амплитуды электрического и магнитного полей в сотни и тысячи раз превышают амплитуду возбуждающего поля. Максимальное значение амплитуд ограничивается тем, что с ростом напряженности магнитного поля возрастают и токи в стенках резонатора, что приводит к дополнительным потерям. В какой-то момент энергия, теряемая в стенках, сравняется с энергией возбуждения и установится состояние равновесия.

Таким образом, в резонаторе запасается некоторая энергия. Если в этот момент отключить источник возбуждения, то колебания в резонаторе продолжаются относительно долго, (это могут быть сотни периодов), пока вся запасенная энергия не израсходуется на нагрев стенок. Очевидно, чем меньше потери в резонаторе, т.е. чем выше его качество, тем на более высоком уровне ста-

билизируется амплитуда колебаний и тем дольше они будут происходить после отключения генератора. Для определения качества резонатора абсолютные значения амплитуд и времени затухания непригодны, поскольку они зависят от уровня входного сигнала. Удобнее в качестве характеристики резонатора использовать отношение запасенной энергии к величине подводимой мощности или, что то же самое, к мощности, теряемой в резонаторе за один период колебаний. Это отношение и называется добротностью.

Каждый резонатор способен работать на любой из принадлежащих ему резонансных частот или даже сразу на нескольких. Поскольку потери на разных частотах разные, добротность всегда определяется применительно к какой-то конкретной частоте. Обычно это основная частота, но бывают специфические случаи, когда резонатор возбуждается на более высокочастотных видах колебаний. Как уже упоминалось, микроволновая печь — один из таких случаев.

Чем выше добротность, тем уже полоса частот, в которой возможно возбуждение резонатора, и тем больше амплитуда колебаний электромагнитного поля. Существует простая формула, устанавливающая связь между добротностью и шириной полосы рабочих частот:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

где $\Delta f$ — ширина полосы на уровне половинной мощности.

Если нет потерь, то возбуждение резонатора возможно только на резонансной частоте. Шаг влево, шаг вправо — гибель для колебаний. Но резонатор без потерь — это некая идеальная абстракция наподобие непогрешимого Иисуса Христа. В реальной жизни потери и грехи всегда есть, хотя они могут быть очень незначительны. Добротность самых высококачественных резонаторов, работающих в условиях сверхпроводимости, может превышать 10 000. В большинстве вакуумных приборов СВЧ добротность составляет порядка 1000.

Добротность пустой камеры микроволновой печи на рабочих видах колебаний не превышает 100, поэтому полоса частот, на которой происходит ее возбуждение, более 25 МГц. Следовательно, камера может возбуждаться на видах, которые смещены относительно частоты магнетрона на 12.5 МГц в любую сторону и даже более. В качестве иллюстрации на рис. 1.12б показана амплитудно-частотная характеристика резонанса на частоте 2.44 ГГц. Из рисунка видно, что, несмотря на удаленность резонанса от частоты магнетрона, он будет успешно возбуждаться. То же самое относится и к другим близлежащим видам.

### *Замедляющие системы*

Работа электровакуумных приборов СВЧ (в том числе магнетронов, используемых в микроволновых печах) основана на взаимодействии потока электронов с электромагнитным полем. Эффективность работы приборов часто зависит от длительности такого взаимодействия. При этом возникает проблема, связанная с тем, что никаким напряжением невозможно разогнать электроны до скорости света, с которой распространяются электромагнитные волны. Но если гора не идет к Магомету, значит, нужно Магомету идти к горе. Для устранения этого несоответствия были созданы различные устройства, которые позволяют либо замедлить распространение электромагнитных волн, либо создать имитацию их замедления. В качестве простейшей замедляющей системы можно рассматривать волновод с диэлектрическим заполнением.

Однако такое решение не всегда приемлемо из-за относительно высоких потерь и небольшого коэффициента замедления. Например, если требуется замедлить скорость волны в 20 раз, то диэлектрическая проницаемость материала заполнения должна быть более 400. Такими параметрами обладают только сегнетоэлектрики, но они в то же время имеют и самые высокие потери, что исключает их использование. Из используемых на практике замедляющих систем наиболее простой и понятной является “спиральная” (рис. 1.13).

Волна в ней распространяется вдоль изогнутой в виде спирали центральной жилы коаксиального волновода, и поэтому ее фазовая скорость замедляется.

В качестве замедляющей системы могут служить связанные резонаторы, настроенные на одну частоту. Разумеется, если они связаны полем, а не бечевкой перед сдачей в утиль. Связь между резонаторами приводит к тому, что возникновение колебаний в одном из них инициирует колебания в соседних. Если из нескольких резонаторов создать цепочку, то регулировкой связи можно так подобрать фазы колебаний, что электрон, пролетающий вдоль этой цепочки, все время будет находиться в одной и той же фазе.

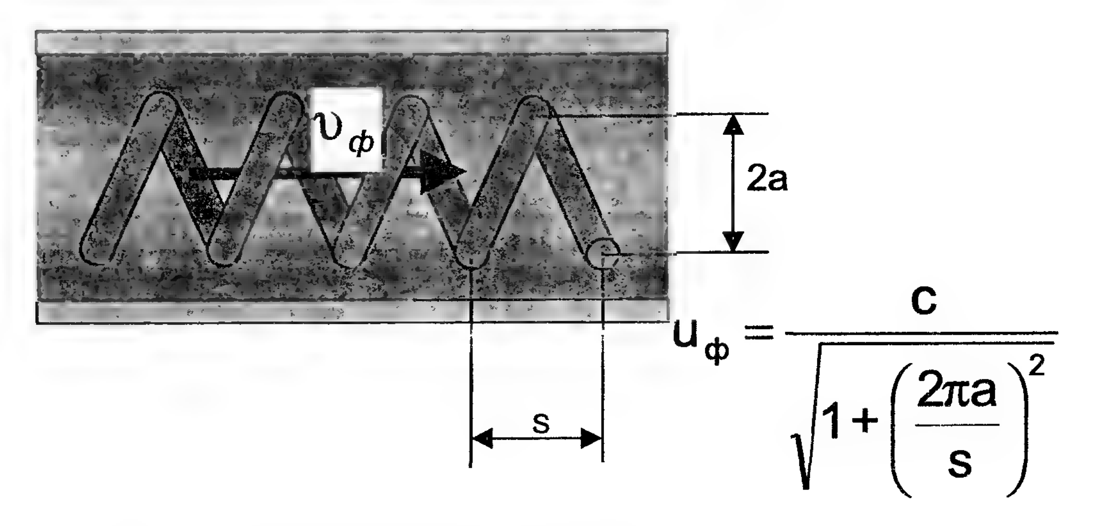



**Рис. 1.13.** Конструкция спиральной замедляющей системы

**Рис. 1.14.** Замедляющая система в виде цепочки связанных резонаторов

В качестве наглядной иллюстрации можно привести аналогию из спортивной жизни: гавайский абориген, занимающийся серфингом может продолжительное время двигаться вместе с волной, находясь на ее гребне. На рис. 1.14 представлен случай, когда за время, необходимое для преодоления электроном расстояния между соседними резонаторами, фаза колебаний изменяется на 180°, или на $\pi$ радиан. Подобная замедляющая система, свернутая в кольцо, используется в качестве анодного блока магнетронов.

## 1.3. Магнетроны

Магнетроном называется генераторный, вакуумный, двухэлектродный прибор СВЧ, в котором движение электронов происходит в скрещенных электрическом и магнитном полях. Перед тем как ознакомиться с работой магнетрона, необходимо вспомнить законы взаимодействия электронов с электрическим и магнитным полями, чем мы в данный момент и займемся.

### *Движение электронов в электрическом поле*

На рис. 1.15 показаны три основных случая движения одиночного электрона в однородном электрическом поле, созданном двумя плоскими электродами, обозначенными как анод (+) и катод (-).

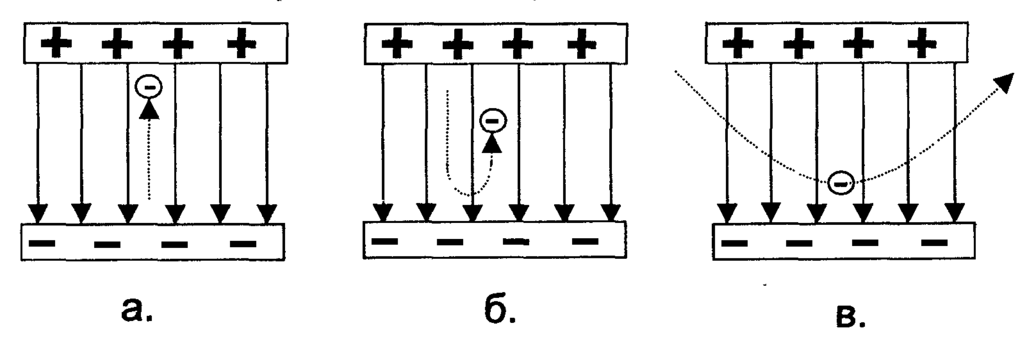



**Рис. 1.15. Варианты движения электронов в постоянном электрическом поле**

В первом случае (рис.1.15а) электрон влетает в поле, отрываясь от отрицательно заряженного катода. Для такого электрона поле будет ускоряющим. Оно действует на электрон с постоянной силой и заставляет его двигаться с ускорением вдоль силовых линий поля. При этом, кинетическая энергия электрона возрастает. Если он попадает в ускоряющее поле, не имея начальной скорости, то, достигнув анода, он приобретает скорость, равную:

$$v = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U}\text{, м/сек,}$$

где U — напряжение между анодом и катодом.

Как видим, скорость электрона не зависит от пройденного расстояния, а определяется исключительно разностью потенциалов. Как известно, энергия не возникает из ничего. Приобретенную кинетическую энергию электрон отбирает у поля. Переместив отрицательный заряд с катода на анод, электрон снизил заряд обоих электродов и тем самым уменьшил напряженность поля между ними.

Если электрон влетает в поле со стороны анода (рис. 1.15б), имея некоторую начальную скорость, то поле будет для него тормозящим. Скорость движения электрона и его кинетическая энергия в тормозящем поле уменьшаются, так как в данном случае работа совершается не силами поля, а самим электроном, который за счет своей энергии преодолевает сопротивление сил поля. Энергия, теряемая электроном, переходит к полю. Имея достаточный запас энергии, электрон может долететь до катода, несмотря на действие тормозящих сил поля. Но если, не долетев до противоположного электрода, электрон израсходует свою кинетическую энергию, его скорость окажется равной нулю, а затем электрон будет двигаться в обратном направлении. При этом поле возвращает ему ту энергию, которую он потерял при своем замедленном движении.

Теперь рассмотрим случай, когда электрон влетает в электрическое поле, имея начальную скорость, направленную под углом к силовым линиям поля (рис. 1.15в). Помимо изменения величины скорости электрона, будет изменяться и направление его движения, так что траектория движения электрона становится криволинейной. Электрон под действием сил поля отклоняется в сторону положительного потенциала.

Иногда для упрощения считают, что ток во внешней цепи вакуумного электронного прибора возникает в момент попадания электронов на анод. В действительности ток протекает и в процессе движения электронов от катода к аноду. Чтобы это уяснить, вспомним явление электростатической индукции.

Пусть имеется электрически нейтральный проводник (рис. 1.16а), к одному концу которого приближается отрицательный электрический заряд *е*. Тогда электроны, имеющиеся в проводнике, отталкиваясь зарядом *е*, сместятся в сторону удаленного конца и там образуется отрицательный заряд. На ближнем к заряду *е* конце получится недостаток электронов, т.е. положительный заряд. Процесс перераспределения зарядов есть не что иное, как электрический ток, поэтому на основании нашего мысленного эксперимента можно сделать обобщающий вывод: если отрицательный электрический заряд приближается к проводнику или удаляется от него, то в этом проводнике возникает ток, по направлению совпадающий с направлением движения заряда. В электронных приборах функцию индуктирующего заряда выполняют электроны, движущиеся от катода к аноду, а возникающий при этом ток во внешней цепи называется наведенным.

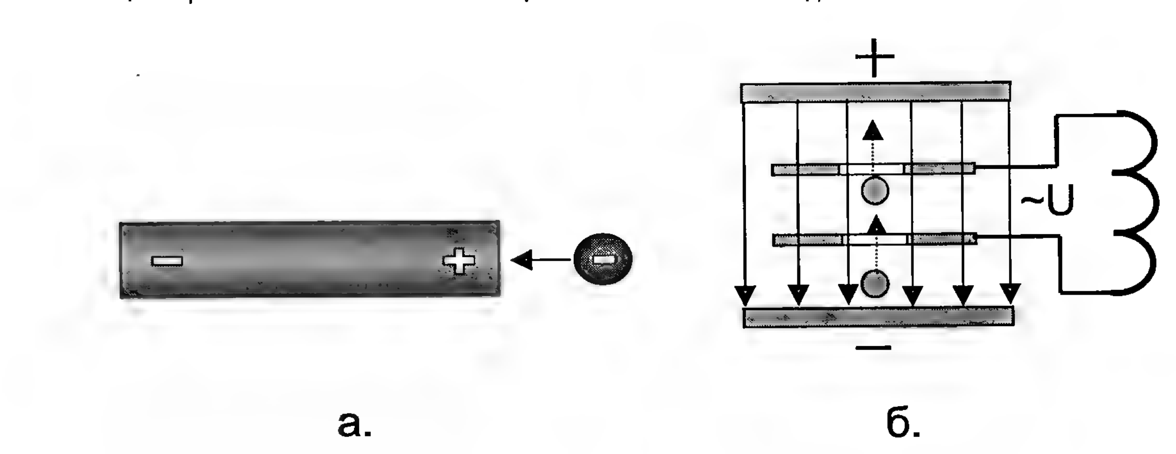



**Рис. 1.16. Возникновение наведенных токов**

В электронике СВЧ наведенные токи очень широко используются для возбуждения колебаний в резонаторах, которые являются составной частью большинства СВЧ приборов. В качестве примера рассмотрим электрическую схему на рис. 1.16б. Здесь в области между анодом и катодом помещены обкладки конденсатора с отверстием в центре, так чтобы электроны могли беспрепятственно проходить сквозь него. Во внешней цепи обкладки замкнуты на катушку индуктивности, образуя колебательный контур. Предположим, электроны вылетают с катода поочередно по одному. Тогда первый электрон, пролетающий мимо обкладок конденсатора, вызовет во внешней цепи наведенный ток и в контуре возникнут электрические колебания. Помимо постоянной составляющей электрического поля, между обкладками появится переменная составляющая. Если после этого выпустить еще один электрон, то в интересующей нас области он либо получит дополнительное ускорение, когда переменное поле будет совпадать по направлению с постоянным, либо наоборот — замедлится в случае противоположной ориентации полей. В последнем случае электрон отдаст часть своей энергии контуру, увеличив амплитуду его колебаний. Выпуская электроны таким образом, чтобы они каждый раз попадали в тормозящее электрическое поле контура, мы можем возбудить в нем колебания любой амплитуды, которую только обеспечивает его добротность. Если же электроны будут влетать в пространство между обкладками в тот момент, когда там ускоряющее поле, то второй электрон погасит колебания, возбужденные первым, и дальше все будет происходить в том же духе: один электрон будет совершать работу, другой — ее уничтожать. Почти как в жизни: один человек, обливаясь потом и проклиная всеобщую грамотность, очищает лифт от надписей, второй с не меньшим упорством их восстанавливает. Оба трудятся, но, работая в противофазе, национальное богатство страны не увеличивают.

### *Движение электронов в магнитном поле*

Движущийся электрон представляет собой элементарный ток и поэтому испытывает со стороны магнитного поля такое же действие, как и проводник с током. Из электротехники известно, что на прямолинейный проводник с током, находящийся в магнитном поле, действует механическая сила, направленная под прямым углом к магнитным силовым линиям и к направлению тока. Эта сила пропорциональна напряженности поля, величине тока и длине проводника, а также зависит от угла между проводником и направлением поля. Она будет наибольшей, если проводник расположен пер-

пендикулярно силовым линиям; если же проводник расположен вдоль линий поля, то сила равна нулю.

Когда электрон в магнитном поле неподвижен или движется вдоль его силовых линий, то на него магнитное поле вообще не действует. На рис 1.17 показано, что происходит с электроном, который влетает с начальной скоростью Vo в равномерное магнитное поле, перпендикулярно его силовым линиям. Под действием сил со стороны магнитного поля его траектория искривляется, он начинает двигаться по дуге окружности. При этом его скорость и кинетическая энергия не изменяются. Радиус окружности, по которой движется электрон, определяется по формуле:

$$r = \frac{mV_0}{e\vec{H}}$$

где m и e — масса и заряд электрона, Vo — скорость электрона, $\vec{H}$ — напряженность магнитного поля.

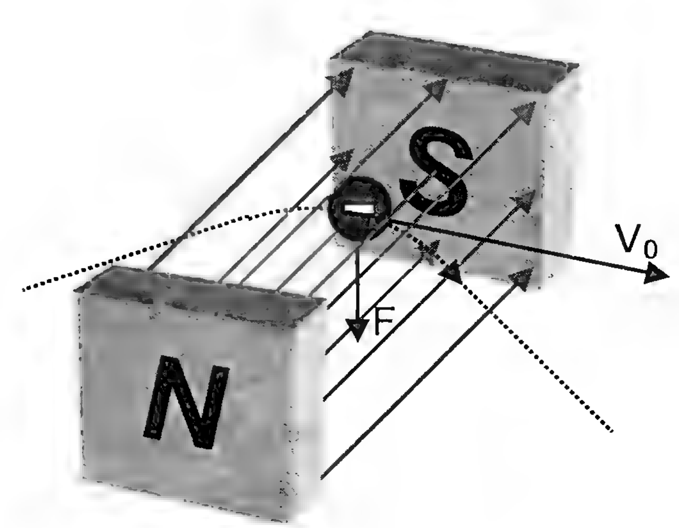



**Рис. 1.17. Воздействие постоянного магнитного поля на движущийся электрон**

### *Конструкция магнетрона*

Устройство магнетрона показано на рис. 1.18. Он представляет собой вакуумный диод, анод которого выполнен в виде медного цилиндра, на внутренней стороне которого расположено четное число резонаторов. В магнетронах для микроволновых печей их, как правило, десять. Форма резонаторов может быть различной, но при этом они должны обладать следующими качествами:

1. Электрическое поле преимущественно сосредоточено в зазоре резонатора.
2 Все резонаторы сильно связаны между собой.
3. Резонаторы имеют высокую добротность.

В дальнейшем для простоты мы будем рассматривать только одну конструкцию магнетрона, которая типична для микроволновых печей. Резонаторы в этом случае представляют собой секторы цилиндра. По сравнению с другими конструкциями эта более технологична и более экономична. Четные и нечетные перегородки между резонаторами соединены между собой связками, назначение которых мы выясним позже. Катод представляет собой спираль из вольфрама, поверхность которого имеет шероховатость для увеличения эмиссии. Выводы катода через металлокерамический переход и высокочастотный фильтр подключаются к внешнему разъему. Промежуток между анодом и катодом, называемый пространством взаимодействия, с торцов ограничен металлическими пластинами, препятствующими выходу электронов и СВЧ поля из этого пространства. Для отбора энергии вблизи одного из резонаторов подключена магнитная петля связи, которая через отрезок коаксиального волновода соединена с излучателем. Магнитное поле в пространстве взаимодействия создается двумя кольцевыми постоянными магнитами и магнитопроводом, в качестве которого служат корпус и фланец. Для более интенсивного охлаждения магнетрона анодный блок окружен радиатором Для снижения паразитного излучения в месте соединения магнетрона с внешней цепью имеется металлическая оплетка. СВЧ фильтр состоит из катушек индуктивности на ферритовом сердечнике и проходных конденсаторов.

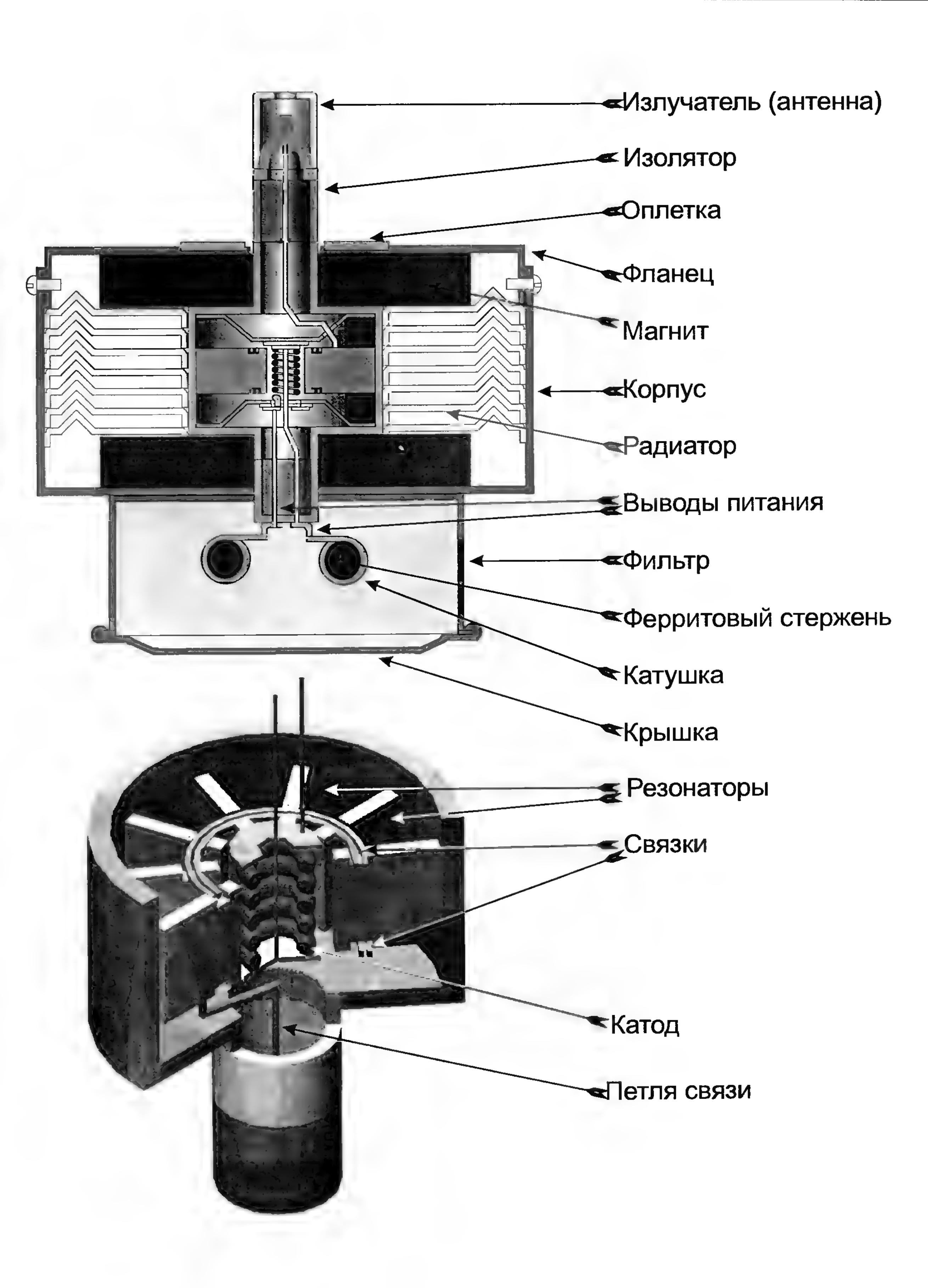



**Рис. 1.18.** **Конструкция магнетрона микроволновой печи**

## *Принцип действия магнетрона*

Рассмотрим вначале движение электронов в магнетроне, предполагая, что колебаний в резонаторах нет. Для упрощения изобразим анод без резонаторов (рис 1.19), как будто их забыли сделать.

Под влиянием ускоряющего электрического поля электроны стремятся лететь вдоль его силовых линий, т.е. по радиусам от катода к аноду. Но как только они набирают некоторую скорость, постоянное магнитное поле начинает искривлять их траектории. Так как скорость электронов постепенно нарастает, то радиус этого искривления постепенно увеличивается. Поэтому траектория электронов представляет собой не дугу окружности, а более сложную кривую — циклоиду На рисунке показаны траектории электронов, вылетевших с катода с ничтожно малой начальной скоростью при разной напряженности магнитного поля H. Анодное напряжение во всех случаях одно и то же. Если магнитное поле отсутствует, то электрон летит строго по радиусу (траектория 1 на рисунке). При напряженности поля, меньшей некоторого критического значения $H_{КР}$, электрон попадает на анод по криволинейной траектории 2. Критическая напряженность поля соответствует более искривленной траектории 3. В этом случае электрон пролетает у самой поверхности анода, почти касаясь ее, и возвращается на катод. Наконец, если поле выше критического, то электрон еще более круто поворачивает обратно (кривая 4).

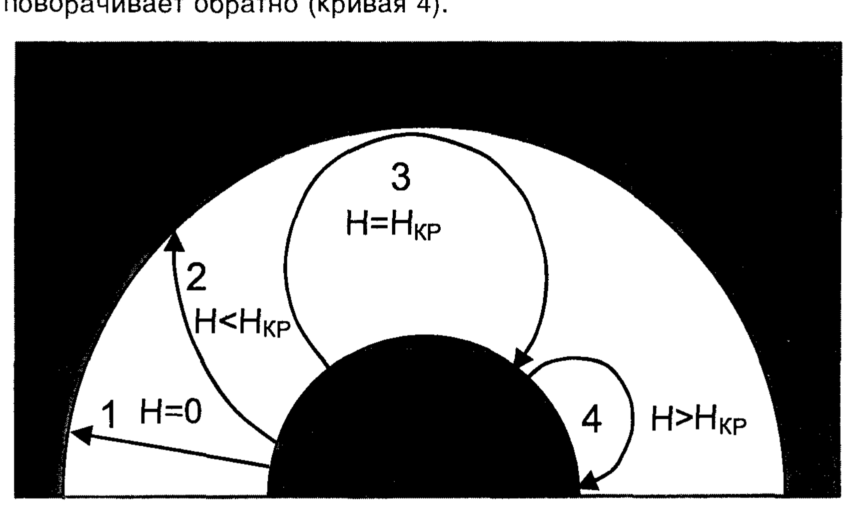



**Рис. 1.19. Движение электронов в пространстве взаимодействия при различной индукции магнитного поля**

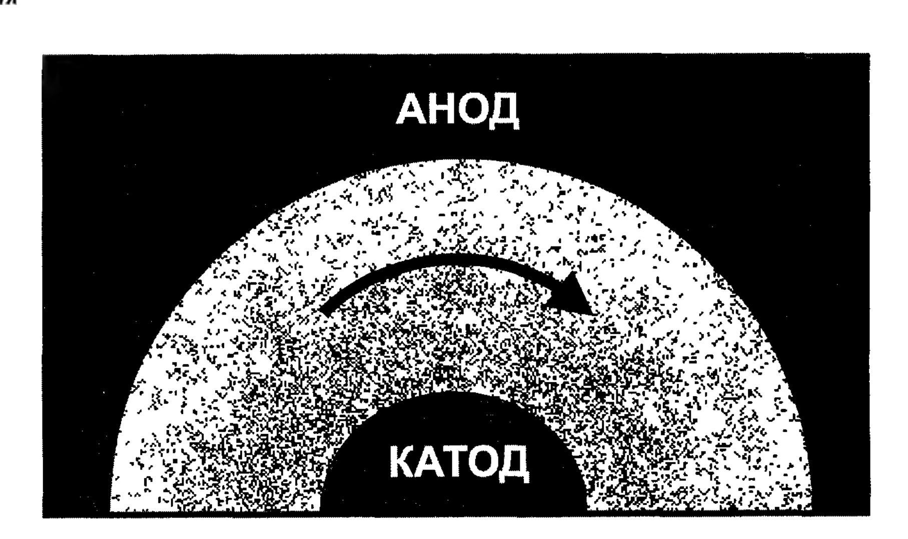



**Рис. 1.20. Вращающееся электронное облако в пространстве взаимодействия**

Магнетроны работают при напряженности поля, несколько большей критической. Поэтому электроны при отсутствии колебаний пролетают близко к поверхности анода на различных расстояниях от него в зависимости от начальной скорости. Поскольку одновременно движется очень большое количество электронов, можно считать, что в пространстве взаимодействия вращается электронное облако в виде кольца (рис. 1.20).

Скорость вращения электронного облака зависит от приложенного напряжения и поэтому может регулироваться. Чтобы при ее увеличении электроны не попадали на анод, одновременно необходимо увеличивать и напряженность магнитного поля.

Теперь вернем на место наши резонаторы. Все они сильно связаны между собой, так как магнитное поле каждого из них замыкается, проходя через смежные резонаторы (рис. 1 21).

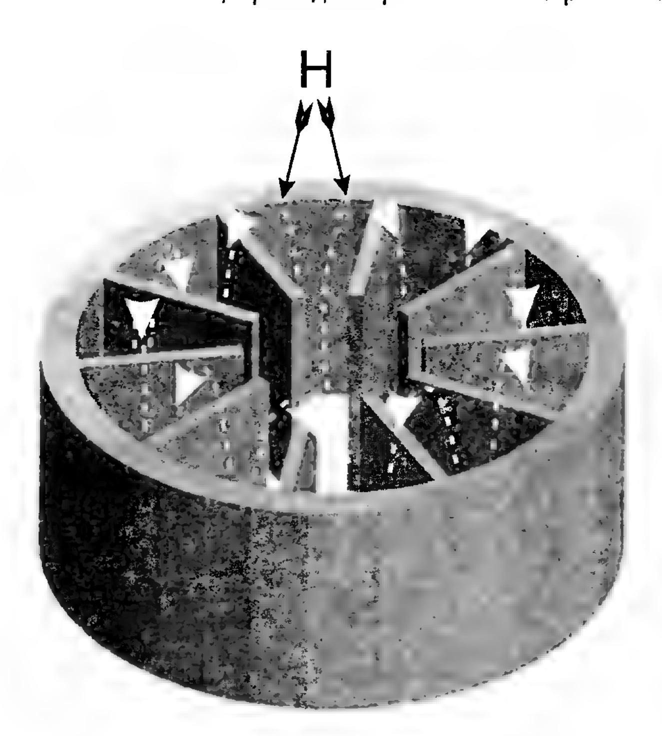



**Рис. 1.21. Связь между резонаторами магнетрона с помощью магнитного поля**

Переменное электрическое поле в магнетронных резонаторах сосредоточено в области щели, причем значительная его часть проникает в область взаимодействия, что имеет принципиальное значение в работе магнетрона. Движение электронного облака в пространстве взаимодействия будет наводить токи в резонаторах. Однако в начальный момент увеличение амплитуды колебаний будет сдерживаться тем, что движение электронов не синхронизировано, и в то время, как одни электроны будут возбуждать колебания, отдавая им часть своей кинетической энергии, другие будут эти колебания гасить. Кроме того, если сдвиг фаз в соседних резонаторах не синхронизирован со скоростью электронов, то один и тот же электрон, отдавая энергию одному резонатору, будет ее тут же отбирать у другого. Обычно для нормальной работы магнетрона требуется, чтобы фазы соседних резонаторов были смещены на 180°, т.е. на $\pi$ радиан. Поэтому такой вид колебаний называется $\pi$ — видом. Чтобы способствовать возбуждению этого вида и препятствовать возбуждению остальных, в магнетроне используются металлические связки, которые электрически соединяют между собой четные и нечетные резонаторы.

Предположим, что в какой-то момент времени в резонаторах случайным образом возникли колебания нужного нам вида (рис. 1.22). Попытаемся доказать, что при правильно заданных режимах магнетрона эти колебания будут усиливаться за счет автоматической группировки электронов

В любой точке пространства взаимодействия мы можем рассматривать СВЧ поле как сумму двух составляющих: радиальной — направленной по радиусу от центра магнетрона, и перпендикулярной ей касательной составляющей. Рассматривая рис. 1.22, можно заметить следующую характерную особенность: во всем пространстве, находящемся под отрицательным сегментом, радиальная составляющая поля направлена к катоду, а во всем пространстве под положительным сегментом она направлена к аноду (поле считаем направленным в ту сторону, куда движется электрон под действием этого поля). Границами, разделяющими эти пространства, являются плоскости, проходящие через ось магнетрона и середины щелей. Обозначим одну из таких плоскостей буквами АА. Слева от этой плоскости радиальная составляющая будет ускорять электроны, поскольку она совпадает по знаку с постоянным анодным напряжением. Так как под влиянием магнитного поля направление скорости изменяется, то через некоторое время увеличение скорости в радиальном направлении превращается в увеличение скорости по направлению к плоскости АА.

Поэтому электроны, находящиеся под положительным сегментом, догоняют электроны, находящиеся в плоскости АА. Электроны, находящиеся под отрицательным полюсом, тормозятся радиальной составляющей СВЧ поля, поэтому их скорость в направлении движения электронного облака снижается. В результате образуются области электронных скоплений, по форме напоминающие спицы колеса, как это показано на рис. 1.23. Эти спицы вращаются с такой скоростью, чтобы за половину периода проходить расстояние от одной резонаторной щели до другой.

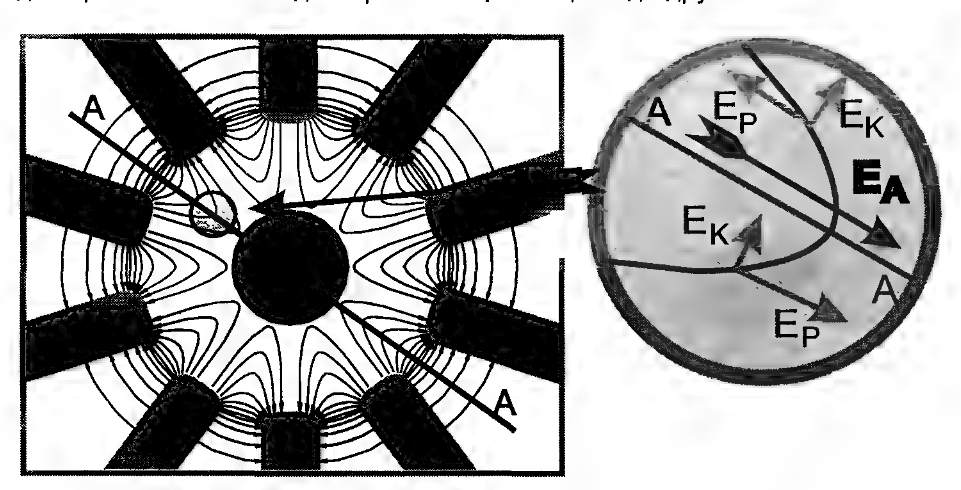



**Рис. 1.22. Распределение силовых линий переменного электрического поля в пространстве взаимодействия**

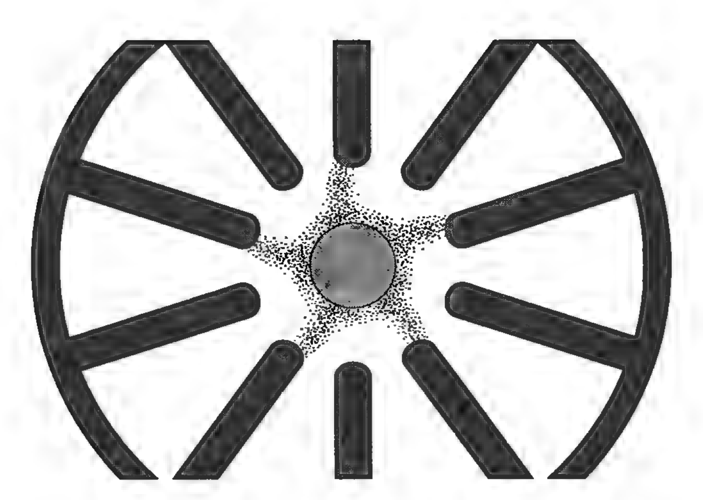


**Рис. 1.23. Форма вращающегося электронного облака в работающем магнетроне**

В этом случае электроны, находящиеся в спицах, пролетая над щелями резонаторов, могут постоянно попадать в тормозящее поле касательной составляющей и отдавать ему энергию, накопленную во время движения по радиальной составляющей. Таким образом, основная роль касательной составляющей СВЧ поля заключается в преобразовании кинетической энергии электронов в энергию колебаний, а основная роль радиальной составляющей заключается в преобразовании равномерного электронного облака в колесо от телеги.

Рассмотрим более подробно движение отдельного электрона в двух случаях: когда он находится в спице и когда он вне ее. Как уже отмечалось, при отсутствии СВЧ поля электрон, вылетевший с катода со скоростью, равной нулю, совершит круг почета вблизи анода и вновь вернется на катод. Причем скорость в конце пути будет той же, что и в начале, т.е. в нашем случае нулевой. При наличии СВЧ поля возможны два случая:

1. Допустим, электрон находится в области спицы. Тогда, вылетев с катода, он будет разгоняться анодным напряжением и за счет магнитного поля постепенно изменять направле-

ние движения. Влетев в тормозящее СВЧ поле, он отдаст ему часть своей кинетической энергии, и его скорость снизится. В результате ему не хватит оставшейся энергии, чтобы долететь обратно до катода. В какой-то момент он остановится, а затем вновь начнет движение к аноду под воздействием анодного напряжения. Все предыдущие процессы повторятся, за исключением того, что точкой начала движения будет не катод. В этом же духе будут происходить и последующие циклы, пока в конце концов электрон не доберется до анода. Таким образом, электрон на пути к аноду проходит по сложной траектории (рис. 1.24) несколько раз, отдавая свою энергию СВЧ полю.

2. Возможен, однако, и другой случай. Если при прочих равных условиях электрон вылетеп с катода в момент, когда он находился между спицами, то он попадет в ускоряющее СВЧ поле, и поэтому ему после правого разворота в магнитном поле вполне хватит энергии врезаться в катод. Избыток кинетической энергии выделится в виде тепла, приводя к дополнительному разогреву катода.

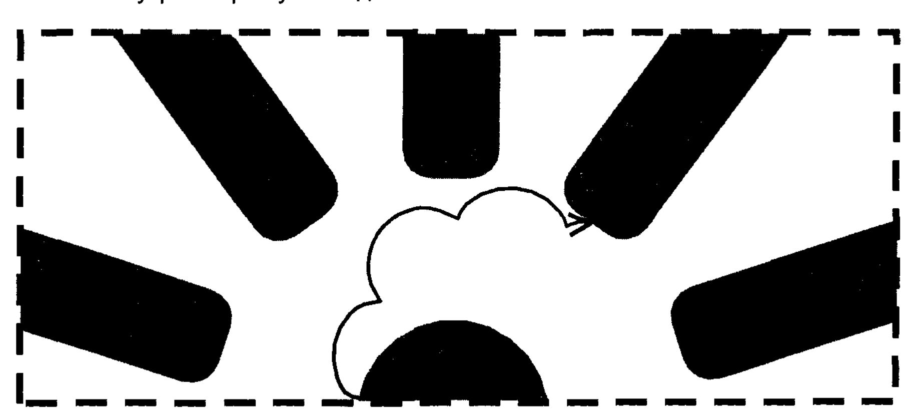


**Рис. 1.24. Траектория электрона, находящегося в "спице", при движении от катода к аноду**

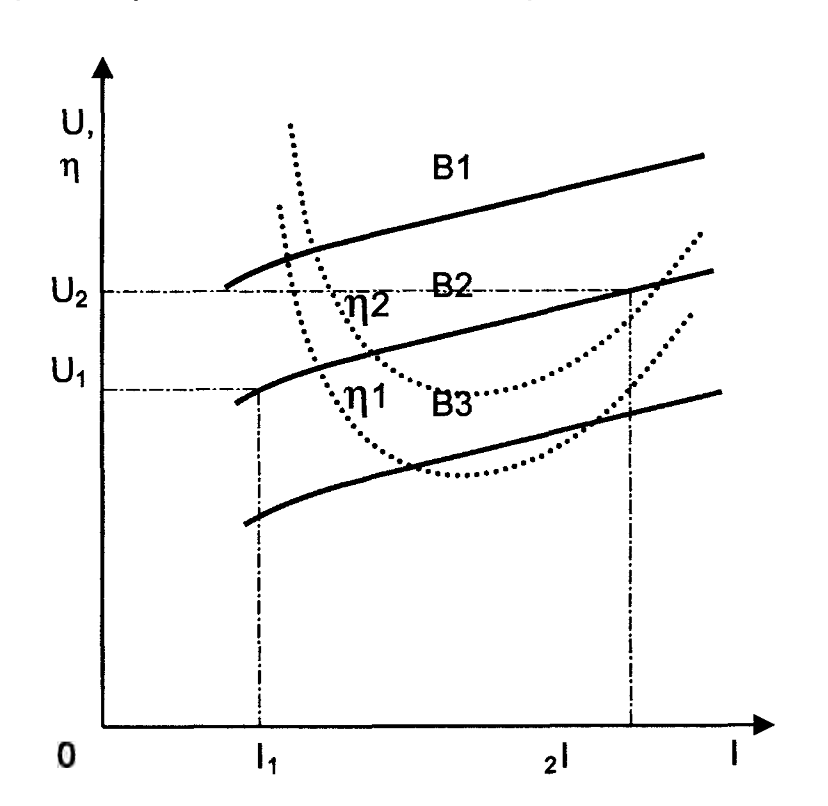



**Рис. 1.25. Рабочие характеристики магнетронов**

## *Характеристики магнетронов*

Основными параметрами магнетронов являются: рабочая частота, выходная мощность, коэффициент попезного действия (КПД), рабочие токи и напряжения. Частота магнетронов для мик-

ровалновых печей составляет 2450 МГц. Отклонение от этой частоты в ту или иную сторону может быть вызвано изменением анодного напряжения или параметрами нагрузки. Величина смещения частоты составляет несколько мегагерц. Мощность магнетронов лежит в пределах от 500 Вт, до 1 кВт, а КПД составляет от 50% у электронных динозавров до 85% в наиболее удачных конструкциях. Анодный ток магнетронов для микроволновых печей обычно составляет 250 — 300 мА. Рабочие напряжения некоторых типов магнетронов приведены в таблице 2.1.

В практике эксплуатации магнетронов широко пользуются графическими рабочими характеристиками, позволяющими в зависимости от конкретных условий установить требуемые значения мощности и КПД. Типичные рабочие характеристики приведены на рис. 1.25. По вертикальной координатной оси отложены значения анодного напряжения, по горизонтальной оси — значения анодного тока.

Для выражения взаимной зависимости нескольких параметров магнетрона на рабочие характеристики наносят ряд кривых, вдоль которых одна из представляемых величин остается неизменной. Эти кривые называются соответственно линиями постоянной мощности, КПД и магнитной индукции. На рисунке линии постоянной индукции сплошные, линии постоянного КПД — пунктирные.

Если изменять напряжение на магнетроне от значения U1 до U2, оставляя неизменной магнитную индукцию B3, то рабочая точка, определяющая режим работы магнетрона, будет перемещаться вдоль линии постоянной индукции. Вследствие слабого наклона линий постоянной индукции при этом будет наблюдаться сильное изменение тока, протекающего через магнетрон (от $I_1$ до $I_2$). Из характеристик видно, что в пределах одной линии постоянной индукции ток изменяется практически от нуля до своего максимального значения при относительно небольшом изменении анодного напряжения. Поэтому на практике режим работы магнетрона удобнее контролировать не по напряжению на магнетроне, а по анодному току.

В областях очень малых и очень больших токов магнетрон работает неустойчиво. в области малых токов наблюдается низкая стабильность частоты магнетрона, а в области больших токов возможно появление “искрения” — кратковременных электрических пробоев внутри магнетрона, приводящих к быстрому разрушению катода.

КПД магнетрона возрастает при одновременном увеличении анодного напряжения и магнитной индукции, если при этом не нарушаются условия синхронизма. КПД магнетрона напрямую зависит от потерь, которые происходят двумя путями. Часть мощности теряется потому, что некоторые электроны прибывают на анодный блок магнетрона с большими скоростями и тратят свою энергию на его нагрев. Вследствие этого магнетрон разогревается до высокой температуры и необходимо принимать специальные меры для его охлаждения. Другая часть мощности теряется в резонаторах магнетрона, так как в них возникают СВЧ токи большой силы. Для снижения этих потерь необходимо повышать добротность резонаторов. Существуют и некоторые другие виды потерь, но их удельный вес невелик.

## 1.4. Взаимодействие микроволновой энергии с веществом

Для того чтобы понять за счет чего происходит нагрев в микроволновой печи, необходимо познакомиться с некоторыми свойствами вещества. Электромагнитное поле проявляет себя и как магнитное, и как электрическое, но, поскольку продукты, приготавливаемые в микроволновой печи, являются диэлектриками, воздействие магнитного поля на них пренебрежимо мало и его можно не учитывать. Диэлектрические свойства материалов могут интересовать нас по двум причинам. Во-первых, приготавливаемые продукты должны максимально поглощать СВЧ энергию, в противном случае возможно ее отражение обратно в магнетрон со всеми вытекающими последствиями. Во-вторых, в камере микроволновой печи имеются диэлектрические детали конструкции (СВЧ-окна, поддоны и т.д.), которые не должны подвергаться нагреву под воздействием микроволновой энергии.

Диэлектриками принято называть вещества, основным электрическим свойством которых является способность к поляризации и в которых возможно существование электрического поля. Такое поле может длительно сохраняться лишь в средах, плохо проводящих электрический ток.

Электропроводность — способность проводить электрический ток — обусловлена наличием в веществе свободных носителей заряда — электрически заряженных частиц, которые под воздействием внешнего электрического поля направленно перемещаются сквозь толщу материала,

создавая ток проводимости. Параметром вещества, количественно определяющим его электропроводность, является удельное объемное сопротивление ρ, измеряемое в омах на метр (Ом*м).

Носителями заряда в диэлектриках могут быть ионы, электроны и молионы — заряженные коллоидные частицы. У реальных диэлектриков ρ=107 — 1018 Ом*м, что практически означает отсутствие протекающего через них тока.

Параметром диэлектрического материала, определяющим его способность противостоять пробою, является электрическая прочность $E_{пр}$ — напряженность электрического поля в диэлектрике, при достижении которой происходит его пробой. Механизм пробоя диэлектриков может иметь различный характер. Основными видами пробоя твердых диэлектриков являются электрический и тепловой. Электрический пробой представляет собой разрушение диэлектрика силами электрического поля и сопровождается образованием электронных лавин. Тепловой пробой обусловлен нагревом диэлектрика до критической температуры вследствие диэлектрических потерь, при нарушении в диэлектрике теплового равновесия. Электрическая прочность диэлектриков при тепловом пробое составляет 1 — 10 кВ/мм, при электрическом — примерно 100 — 1000 кВ/мм.

Помимо удельного объемного сопротивления, для краткости обычно называемого удельным сопротивлением, для твердых диэлектриков в качестве параметра вводят также удельное поверхностное сопротивление $\rho_s$. Очень часто пробой диэлектрика происходит именно по поверхности, особенно при работе в загрязненных или увлажненных средах.

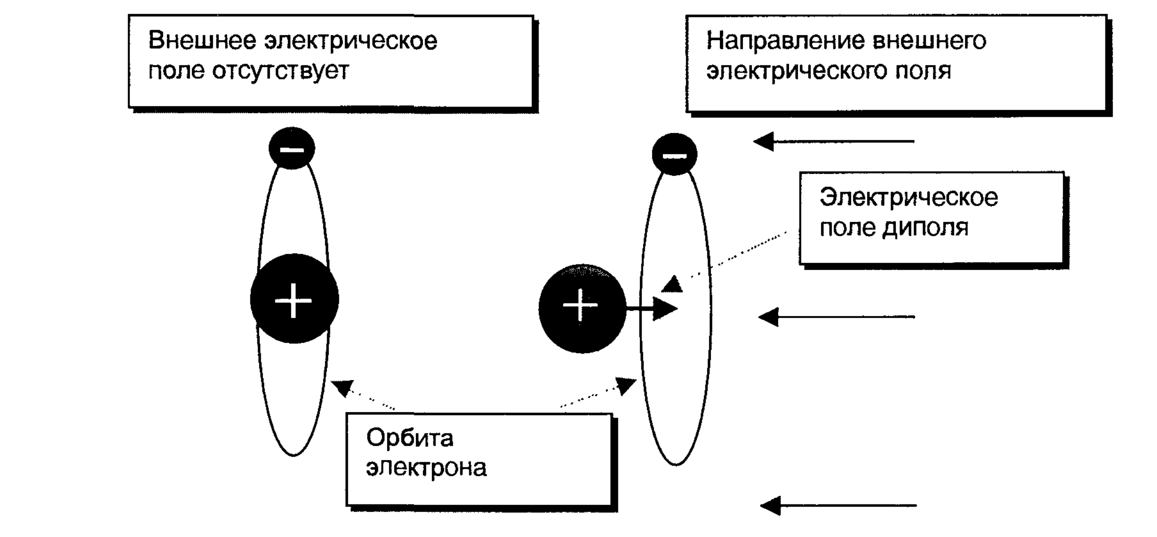



**Рис. 1.26. Смещение электронной орбиты под воздействием электрического поля**

Одним из важнейших параметров диэлектрических материалов является диэлектрическая проницаемость. Различают относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_r$ (прежде ε) и абсолютную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_r\varepsilon_0$ ($\varepsilon_0$ — электрическая постоянная или, по старой терминологии, диэлектрическая проницаемость вакуума, равная 8.854*10-12 Ф/м).

По физическому смыслу диэлектрическая проницаемость — количественная мера интенсивности процесса поляризации. Поляризация представляет собой смещение связанных зарядов под действием внешнего электрического поля. Основными видами поляризации являются электронная, ионная и дипольная.

Электронная поляризация — упругое смещение электронных орбит относительно ядер в атомах и молекулах под действием внешнего электрического поля. В качестве примера можно рассмотреть поляризацию атома водорода, состоящего из положительно заряженного ядра и вращающегося вокруг него электрона. Если поле отсутствует, то центр, вокруг которого вращается электрон, совпадает с центром ядра и, соответственно, заряды полностью нейтрализуют друг друга. В присутствии электрического поля электрон смещается относительно ядра, как это показано на рис. 1.26, центр вращения электрона и центр ядра расходятся в пространстве и образуется диполь. Электронная поляризация происходит во всех диэлектриках независимо от присутствия в них других видов поляризации.

Ионная поляризация — это упругое смещение противоположно заряженных ионов в узлах кристаллической решетки. Присутствует в кристаллических веществах. Ионная и электронная поляризации происходят без потерь энергии.

Дипольная поляризация характерна для полярных диэлектриков. Полярные молекулы имеют несимметричное строение. Центры тяжести разноименных зарядов у них не совпадают, и поэтому в отсутствие внешнего электрического поля эти молекулы представляют собой диполи. Характерным представителем дипольных диэлектриков является вода, молекула которой показана на рис. 1.27.

Молекула воды состоит из атома кислорода и двух атомов водорода. Связь между атомами осуществляется за счет того, что электрон каждого из атомов водорода образует пару с одним из атомов кислорода, которая является общей для обоих атомов. Поскольку размеры и свойства атомов водорода и кислорода различны, наличие такой пары приводит к смещению центров положительного и отрицательного зарядов относительно друг друга. Дипольный момент возникает из-за того, что оси между центрами атомов водорода и центром атома кислорода не совпадают. Угол между ними составляет примерно 105°. Этот, на первый взгляд, незначительный факт имеет далеко идущие последствия. Свойства воды как растворителя объясняются главным образом существованием у ее молекулы дипольного момента. Этот момент играет важную роль и в химических реакциях, происходящих в присутствии воды. Трудно вообразить, на что был бы похож мир, если бы атомы в молекуле воды располагались по прямой линии, как в некоторых других веществах. Скорее всего, наблюдать это было бы некому.

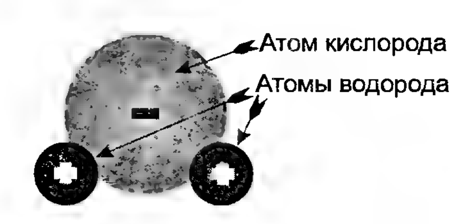



**Рис. 1.27. Молекула воды**

Свойства диэлектриков, состоящих из полярных молекул, существенно отличаются от диэлектриков с другими видами поляризации. Относительная диэлектрическая проницаемость неполярных жидкостей близка к 2, в то время как для воды она равна примерно 80. Сущность дипольной поляризации состоит в повороте диполей в направлении электрического поля. При отсутствии внешнего электрического поля молекулы полярного диэлектрика, находящиеся в хаотическом тепловом движении, ориентированы произвольным образом (рис. 1.28а) и какое-либо выделенное направление отсутствует. Ситуация изменится, если диэлектрик поместить в электрическое поле. Электростатические силы будут стремиться развернуть диполи вдоль силовых линий. В результате дипольные молекулы частично ориентируются вдоль поля, причем степень их ориентации будет зависеть от напряженности приложенного поля.

В идеальном диэлектрике отсутствуют свободные носители зарядов, поэтому его суммарный заряд всегда равен нулю. При помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле за счет ориентации диполей вдоль силовых линий на противоположных сторонах диэлектрика образуются нескомпенсированные заряды, которые создают внутреннее поле, по направлению обратное приложенному (рис. 1.28б). В результате суммарное поле в диэлектрике оказывается меньше, чем поле в свободном пространстве, при прочих равных условиях.

Таким образом, диэлектрическую проницаемость можно рассматривать как меру, характеризующую степень снижения напряженности электрического поля в диэлектрике по сравнению с вакуумом. Однако с точки зрения микроволновой техники более существенным является то, что скорость распространения электромагнитных волн в веществе пропорциональна $\sqrt{\varepsilon}$. Для пояснения этого факта и вытекающих последствий рассмотрим картинку на рис. 1.29.

Электромагнитная волна распространяется по волноводу со скоростью $V_0$ и на некотором участке попадает в область, заполненную диэлектриком. В результате ее скорость уменьшается в $\sqrt{\varepsilon}$ раз, что приводит к такому же сокращению длины волны. Волна в диэлектрике как бы сжимается в продольном направлении. При этом энергия электромагнитного поля, запасенная на участках, ограниченных длинами L1 и L2, одна и та же, поскольку размеры участков на рисунке выбраны таким образом, чтобы на них умещалась ровно одна длина волны. Из этого можно сделать следующий качественный вывод: чем выше диэлектрическая проницаемость вещества, тем больше плотность запасаемой в нем электромагнитной энергии. Количественные оценки более сложны и зависят от типа волны, формы диэлектрика и т.д., но, поскольку при ремонте микроволновой печи эти знания вряд ли помогут, скорее наоборот, только окончательно запутают, мы в эти дебри углубляться не будем.

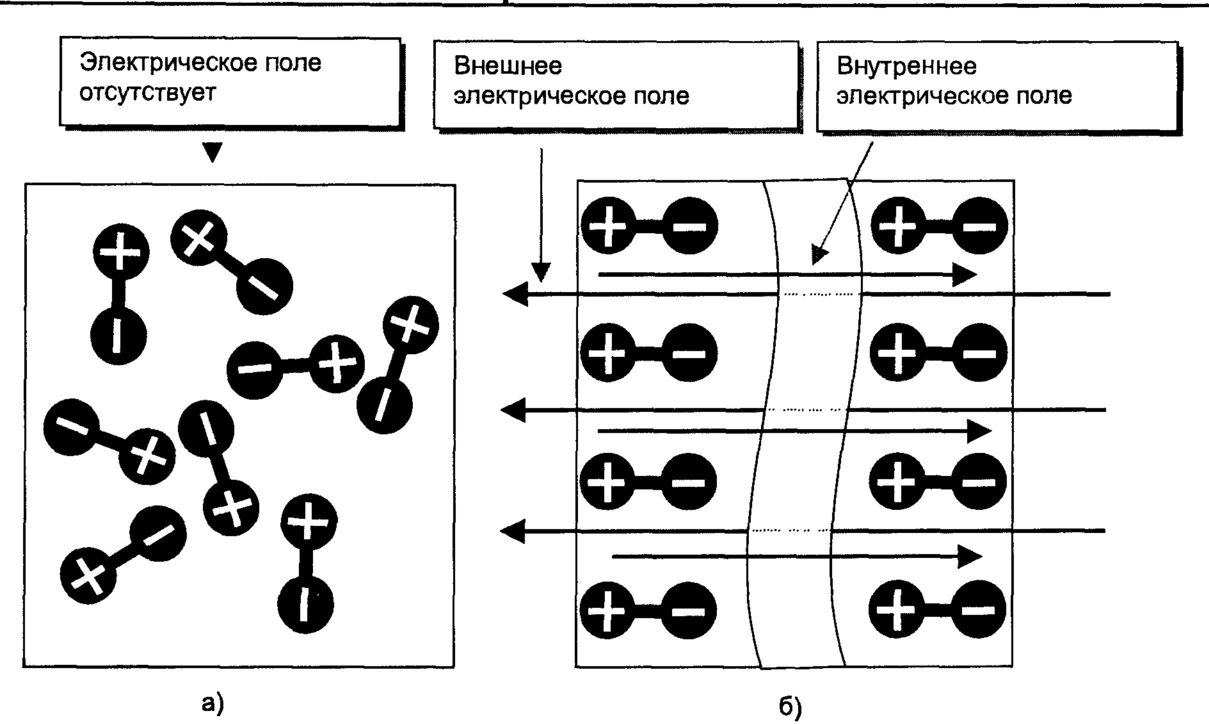



Рис. 1.28. Дипольная поляризация диэлектрика под воздействием внешнего электрического поля

Рис.1.29. Изменение характеристик поля в волноводе при его заполнении диэлектриком

Может показаться, что возникает некоторое противоречие в полученных выводах: с одной стороны, из-за поляризации, амплитуда поля в диэлектрике уменьшается, а с другой — возрастает запасенная энергия. Но это противоречие кажущееся. В подтверждение этих слов приведем пример из электростатики. Если между обкладками обычного конденсатора поместить диэлектрик, то его емкость, а соответственно и запасенная энергия возрастут. В то же время напряженность поля между обкладками уменьшится. Теоретически волновод можно представить в виде эквивалентной схемы, состоящей из набора индуктивностей и емкостей, и поэтому приведенный пример с конденсатором не пустая абстракция, а вещественное доказательство.

Поляризация диэлектрика приводит к изменению напряженности электрического поля не только внутри него, но и снаружи. Рассмотрим, как это происходит. Предположим, между обкладками заряженного конденсатора помещен диэлектрический шар (рис.1.30а). В результате поляризации, вблизи его полюсов образуются электрические заряды, компенсирующие поле внутри диэлектрика. Но эти же заряды создадут и внешнее электростатическое поле, как это показано на рис.1.30б. Поэтому вне шара, как и внутри него, электрическое поле будет складываться из поля, которое существовало бы в отсутствие шара и поля образованного зарядами поляризованного диэлектрика. Результирующая картина поля показана на рис.1.30в. Внешне все выглядит так, как будто силовые линии поля втягиваются в диэлектрик. Иногда бывает удобно считать, что чем выше $\varepsilon_R$, тем сильнее происходит втягивание силовых линий внутрь диэлектрика. Но при этом полезно не забывать, что на самом деле этого, конечно, не происходит. Все это не более, чем своеобразный электромагнитный мираж.

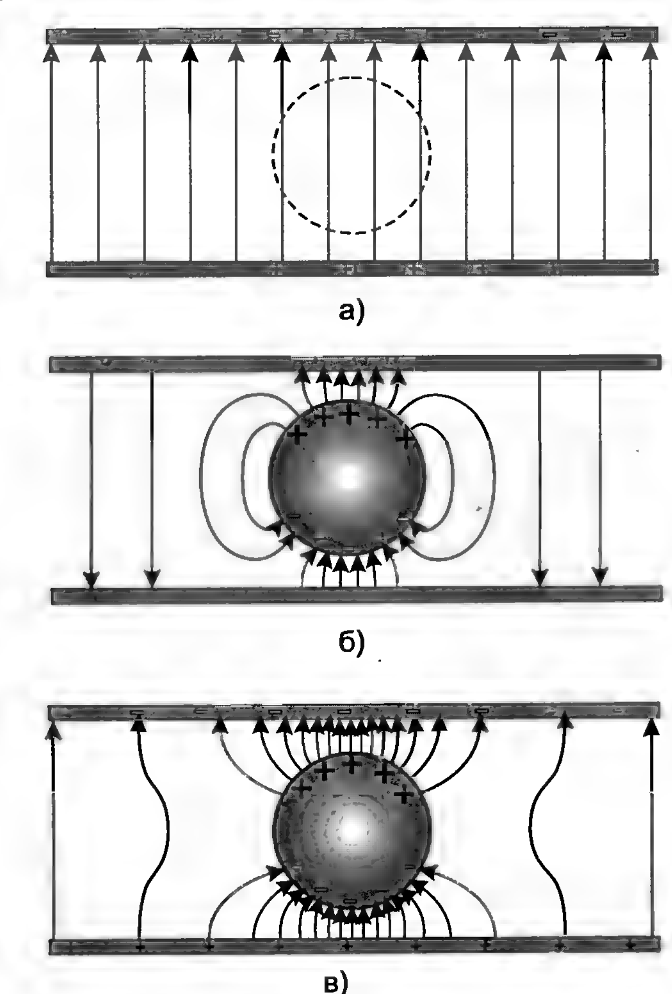



**Рис.1.30. Изменение электрического поля конденсатора при помещении между его обкладками шара из полярного диэлектрика**

Мы рассмотрели влияние диэлектрика на электростатическое поле конденсатора. То же самое происходит и в динамике, в СВЧ устройствах, с той лишь разницей, что амплитуда полей постоянно меняется. (В некоторых материалах, СВЧ все же вносит свою специфику. Это проявляется в наличии гистерезиса, явления при котором поле диполя отстает по фазе от внешнего поля.)

Еще одним важным параметром диэлектрических материалов являются диэлектрические потери. Они служат для определения электрической мощности, затрачиваемой на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле.

В справочной литературе для характеристики способности диэлектрика поглощать энергию переменного электрического поля используют тангенс угла диэлектрических потерь $\mathrm{tg}\delta$. Столь замысловатый термин используется потому, что непосредственно входит в формулу для рассеиваемой в диэлектрике мощности, и поэтому удобен при технических расчетах. Физический смысл $\mathrm{tg}\delta$ состоит в следующем: в случае диэлектрика без потерь ток в емкостной цепи опережает напряже-

ние на угол 90°. Наличие потерь приводит к сдвигу фазы между током и напряжением, и угол между ними становится меньше 90° на величину δ. Количественно потери оказываются пропорциональны tgδ, отсюда и удобство использования этой величины.

Рассмотрим два основных вида диэлектрических потерь.

1. Потери на электропроводность обнаруживаются в диэлектриках, имеющих низкое удельное объемное сопротивление. К таким диэлектрикам, в частности, относится вода. Химически чистая вода считается хорошим диэлектриком, но в природе она чистой не бывает. (Для этого вовсе не обязательно, чтобы в ней мыли сапоги). Вода является прекрасным растворителем и поэтому всегда содержит массу примесей. Известно, что в морской воде содержится вся таблица элементов Менделеева, включая и те элементы, о существовании которых он только догадывался. Поэтому электропроводность воды определяется не столько молекулами самой воды, сколько содержащимися в ней примесями, которые могут диссоциировать на положительно и отрицательно заряженные ионы. Под воздействием переменного электрического поля ионы начинают двигаться в такт изменяющемуся полю, попутно расталкивая встречающиеся на пути молекулы воды и таким образом преобразуя электрическую энергию в тепловую. Причем концентрация примеси не обязательно должна быть высокой. Достаточно одного иона на тысячу молекул воды, чтобы вода перестала быть диэлектриком и перешла в разряд полупроводников. Вспомните пословицу о бочке меда и ложке дегтя: народная мудрость установила влияние примеси на вещество задолго до открытия его молекулярного строения.

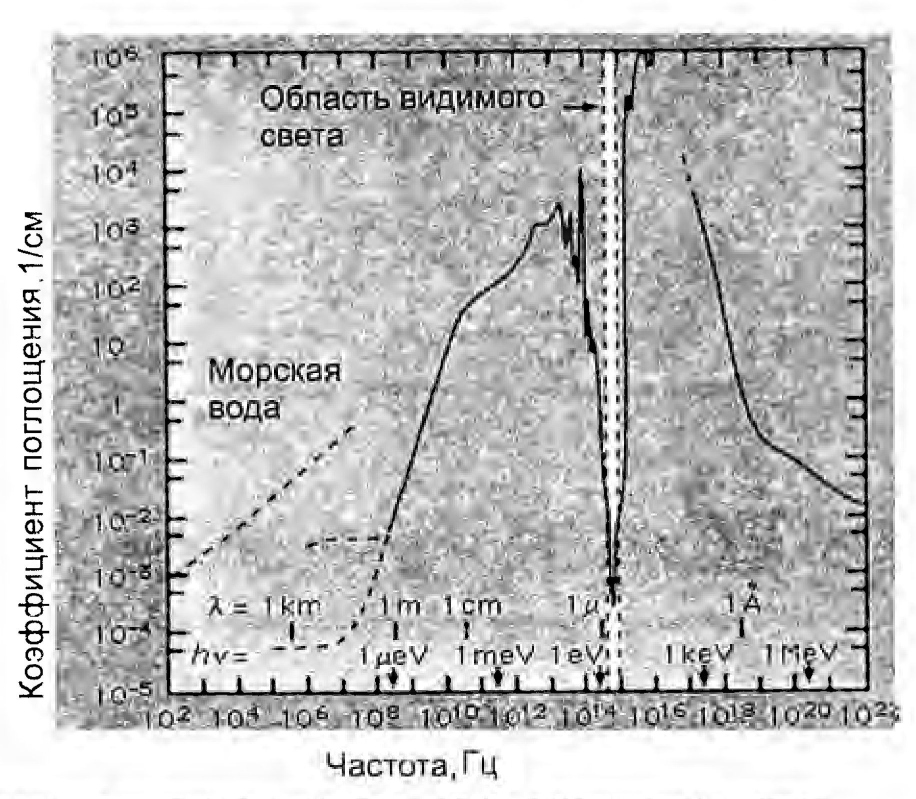



**Рис. 1.31.** **Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты**

В дополнение можно привести наглядный пример из жизни: если в метро в час пик у одного из пассажиров возникнет серьезный стимул периодически бегать из одного конца вагона в другой, то температура на данном отрезке маршрута дойдет до кипения за очень короткое время.

2. Релаксационные потери обусловлены поворотом полярных молекул в направлении силовых линий электрического поля. Каждый поворот требует некоторых затрат энергии, особенно если при этом мешают соседи, которых приходится расталкивать и которые, в свою очередь, норовят отплатить тем же. Возвращаясь к предыдущему примеру, немного изменим начальные условия: высадим неугомонного бегуна, а на каждого из оставшихся пассажиров оденем по два рюкзака, для большего сходства с молекулой воды, и заставим

вращаться вокруг своей оси. Нетрудно предположить, что и в этом случае результатом будет повышение температуры. Поскольку ориентация поля меняется на противоположную дважды за период, то чем выше частота, тем чаще происходит выяснение отношений между молекулами и тем больше энергии превращается в тепло.

На рис. 1.31 приведена зависимость коэффициента поглощения $\alpha$ для воды во всем спектре электромагнитных частот. Как видим, на частоте работы микроволновой печи поглощение энергии близко к максимальному, что обеспечивает хорошее преобразование электромагнитной энергии в тепловую.

Диэлектрические потери, отнесенные к единице объема диэлектрика, называют удельными потерями. Их можно рассчитать по формуле:

$$p = E^2\omega\varepsilon_r\varepsilon_0 tg\delta$$

где E — напряженность электрического поля, $\omega$ — круговая частота.

Из приведенного выражения следует, что потери в веществе определяются произведением диэлектрической проницаемости $\varepsilon$ на $tg\delta$. Это произведение иногда называют коэффициентом диэлектрических потерь. Чтобы представлять степень нагрева того или иного вещества в электрическом поле, необходимо знать его $\varepsilon$ и $tg\delta$. Указанные параметры некоторых веществ приведены в таблице 1.1.

Анализируя приведенные в таблице данные, легко определить материалы, которые можно использовать для изготовления вспомогательных деталей, находящихся внутри камеры. Например, фторопласт, полиэтилен, слюда — имеющие очень низкий коэффициент удельных потерь.

С другой стороны, несложно предсказать результат нагрева банки с трансформаторным маслом в микроволновой печи "Электроника", имеющей текстолитовую перегородку в верхней части камеры. Эта перегородка сгорит раньше, чем масло нагреется хотя бы на несколько градусов.

## 1.5. Влияние СВЧ излучения на биологические объекты

У многих людей в нашей стране термин "излучение" вызывает подсознательный страх и непреодолимое желание держаться подальше от всего, что с этим связано. Возможно, это "синдром Чернобыля". Свою лепту в это вносит и сходство слов "радио" и "радиоактивность", хотя слово "радиоактивность" имеет своим корнем "радий" — химический элемент, в котором впервые было обнаружено явление радиоактивности. Поэтому имеет смысл "отделить зерна от плевел" и разобраться, как в действительности микроволновое излучение влияет на биологические объекты и какую опасность оно может представлять для человека.

Как мы уже знаем, микроволны — это вид электромагнитной энергии, занимающий по шкале частот положение между радиоволнами и инфракрасным излучением (рис. 1.1), и поэтому ему присущи некоторые свойства своих соседей. Ни тепло, ни радиоволны не наносят ущерба нашему здоровью, следовательно, нет особых причин ожидать этого и от микроволнового излучения.

Рассматривая шкалу электромагнитных частот, можно выделить две принципиально различные формы излучения на разных ее концах. Излучение волн с частотой больше, чем у видимого света называется ионизирующим, а если частота излучения меньше, чем частота видимого света, то такое излучение является неионизирующим. Для того, чтобы понять разницу между этими двумя видами излучения, необходимо разобраться во взаимодействии электромагнитных волн с веществом.

Все в природе состоит из атомов, мельчайших неделимых частичек вещества. "Атом" в переводе с греческого означает "неделимый". Если взять любой однородный предмет, к примеру железный трамвайный рельс, и последовательно распиливать его на все более мелкие кусочки, то в конце концов мы получим такой маленький кусочек, который является мельчайшим носителем вещества Атом можно продолжать делить и дальше, на электроны, протоны и другие элементарные частицы, но тогда это уже будет не железо. Электрон железа ничем не отличается от электрона кислорода и поэтому не несет в себе никаких свойств вещества. Сочетания атомов различных элементов могут образовывать молекулы — мельчайшие частички веществ более сложной структуры. В этом случае разрушение вещества может наступить еще раньше, на этапе деления молекул на атомы.

Таблица 1.1

| Диэлектрик | e | tgδ |
|---|---|---|
| Вареный горох | 9 | 0.5 |
| Винипласт | 4.0 | 0.02 |
| Вода вблизи точки замерзания | 87.8 | — |
| Вода вблизи точки кипения | 55.6 | — |
| Вода при t=20°C | 81 | 0.11 |
| Гетинакс | 7.5 | 0.015 |
| Капрон | 4.5 | 0.06 — 0.1 |
| Картофель | 38 | 0.3 |
| Касторовое масло | 4.0 | 0.02 |
| Кварц плавленый | 3.8 | $1*10^{-4}$ |
| Льняное масло | 3.3 | — |
| Метиловый спирт | 32.6 | — |
| Мороженая говядина при t=-15°C | 5.0 | 0.15 |
| Мороженая свинина при t=-15°C | 6.8 | 1.2 |
| Нейлон | 4.6 | 0.04 |
| Пластмассы Э1-340-02, Э2-330-02, Э8-361-63, Э9-342-73, Э10-342-63, Э11-342-63, Э15-121-02 | 7.5 — 9.5 | 0.08 |
| Пластмассы Э3-340-65, Э4-100-30, Э5-101-30, Э6-014-30 | 6 — 8 | 0.01 — 0.012 |
| Плексиглас | 2.61 | $8.4*10^{-3}$ |
| Поджаренная говядина при t=24°C | 28 | 0.2 |
| Поджаренная свинина при t=35°C | 23 | 2.4 |
| Полистирол | 2.55 | $0.5*10^{-3}$ |
| Полиэтилен | 2.26 | $0.4*10^{-3}$ |
| Сапфир | 11 | $0.26*10^{-4}$ |
| Слюда | 5.4 | $0.3*10^{-3}$ |
| Стекло С5-1 | 3.8 | $1*10^{-4}$ |
| Стекло С63-1 | 12 | $131*10^{-4}$ |
| Текстолит | 3.67 | $6.0*10^{-2}$ |
| Трансформаторное масло | 2.2 | 0.001 |
| Фреон 215 | 2.76 | 6.0 |
| Фторопласт-4 (тефлон) | 2.0 | $3.0*10^{-4}$ |
| Эбонит | 2.67 | $6.0*10^{-3}$ |
| Электрофарфор | 5 — 8 | 0.025 |
| Эпоксидный компаунд Д1 | 4 | 0.02 |
| Этиловый спирт | 24.3 | — |

Обратим внимание, что всякое деление вещества требует затрат определенной энергии. Так же, как при отрезании от рельса небольшого кусочка железа необходимы физические усилия, отделение электрона от атома тоже требует приложения энергии извне. Отличие заключается в том, что если рельс можно пилить долго и с перекурами, то отделение электрона от атома требует однократного действия. Нельзя это сделать в два этапа, как нельзя перепрыгнуть через пропасть, используя тройной прыжок.

Подобно веществу электромагнитное поле также состоит из элементарных волновых пакетов — квантов. Не может существовать поле с энергией меньше, чем энергия кванта. Однако кванты волн разных частот могут очень сильно отличаться друг от друга, поскольку энергия кванта пропорциональна частоте излучения. Например, увеличив частоту в десять раз, мы во столько же раз увеличиваем энергию квантов электромагнитного поля. Сущность ионизирующего излучения заключается в том, что энергия кванта оказывается достаточной для того, чтобы оторвать электрон от атома. Необходимая для ионизации энергия для разных веществ разная. Поэтому и энергия квантов, а соответственно, и частота излучения при ионизации различных веществ требуется разная. Некоторые вещества способны ионизироваться уже при инфракрасном излучении и видимом свете. Этот эффект используется в различных фотоэлементах, фототранзисторах и т.д. Ионизация биологической ткани может происходить при частотах, примерно в десять раз превышающих частоту видимого света. Примером такого излучения может служить рентгеновское, представляющее опасность для человека.

Биологическая ткань состоит из довольно сложных молекул, каждая из которых может содержать тысячи атомов. Тем не менее каждая ионизированная молекула является дефектной, поскольку ее свойства могут заметно отличаться от свойств обычной молекулы. При длительном воздействии ионизирующего излучения количество таких молекул накапливается, что может привести к необратимым результатам. Из-за способности к накапливанию дефектных молекул даже очень слабое ионизирующее излучение может представлять серьезную опасность.

Квант энергии неионизирующего излучения не способен оторвать электрон от атома и поэтому не представляет угрозы для биологической ткани. Особо подчеркнем, что мощность излучения в этом случае не имеет значения, так как если для ионизации молекулы нужна определенная энергия, то этого не смогут сделать и миллион квантов с вдвое меньшей энергией. Микроволновое излучение по шкале частот расположено ниже инфракрасного, поэтому никакого ионизирующего воздействия на вещество не оказывает. Однако это вовсе не означает, что оно вообще не представляет опасности. Любой вид энергии несет в себе определенную угрозу, и риск тем больше, чем выше уровень энергии и время ее воздействия. Например, электрическая батарейка и линия высоковольтной передачи заключают в себе один и тот же вид энергии, но степень риска при работе с ними изменяется от пренебрежимо малой до смертельно опасной. Можно получать удовольствие, принимая солнечные ванны, но, если переусердствовать, это может закончиться ожогом или солнечным ударом. Микроволновое излучение здесь не исключение.

Работая с СВЧ оборудованием мощностью 100 Вт, у которого сломаны все защиты и блокировки, самое худшее, что может случиться, эквивалентно нагреву тканей тела нагревателем такой же мощности. Это может быть неприятно, но не смертельно. Аналогичная ситуация с оборудованием мощностью 100 кВт, превратит субъекта, оказавшегося в неподходящее время в неподходящем месте, в пепел в течение нескольких минут. Единственным утешением для скорбящих родственников будет экономия на крематории.

Как правило, не бывает четкой границы между опасным и безопасным уровнем мощности. Считающееся вполне безопасным напряжение 36 В, при определенных условиях может вызвать поражение электрическим током. Поэтому в качестве стандарта безопасного излучения принимается такое, которое ни при каких условиях не может нанести вреда.

Влияние СВЧ полей на биологические объекты до конца еще не изучены. Имеются сведения о положительном воздействии микроволн на семена сельскохозяйственных культур. Существуют медицинские аппараты, использующие микроволновую энергию для лечения различных заболеваний. В печати были сообщения о том, что так называемое биополе есть не что иное, как микроволновое излучение с длиной волны около 8 мм, (впрочем за достоверность этого автор поручиться не может). Основным биологическим воздействием микроволнового излучения в настоящее время считается повышение температуры тела за счет поляризационных эффектов. Для количественной оценки уровня излучения используется параметр “плотность мощности”, измеряемый в ваттах на квадратный сантиметр. Чувствительность человеческого тела к микроволновому излучению зависит от его частоты. Излучение миллиметрового диапазона и более высокочастотное почти полно-

стью поглощается кожным покровом и может ощущаться при плотности мощности в несколько милливатт на квадратный сантиметр.

На частоте работы микроволновой печи (2450 МГц) проникновение излучения внутрь тела составляет несколько сантиметров и производимый им нагрев чувствуется при плотности мощности 20 — 50 мВт/см² в течение нескольких секунд. Опасность такого излучения заключена в возможности получения внутренних ожогов, которые могут быть гораздо более опасны, чем обычные ожоги, поскольку организм к ним менее приспособлен. Особенно чувствительны к таким ожогам глаза и яичники, поскольку низкий поток крови в этих частях тела практически не рассеивает тепло. Заметим, что необратимые изменения в организме могут наступать при достижении внутренними тканями тела температуры выше 43°С. Минимальная плотность излучения, при которой это может произойти, составляет 20 мВт/см². Например, плотность излучения 100 мВт/см² в течение продолжительного времени может служить причиной глазной катаракты и временного бесплодия. При плотностях мощности, в десять и более раз меньшими, излучение считается полностью безопасным. Например, плотность излучения от телевизионной вышки, фактически производящей такое же воздействие на организм человека, как СВЧ, в некоторых местах составляет единицы милливатт на квадратный сантиметр, однако мы его никак не ощущаем.

В настоящее время в мире существуют два основных стандарта на уровень безопасного излучения. Один из них разработан Американским Национальным Институтом Стандартов (ANSI) и предлагает считать безопасным излучение с плотностью мощности в 10 мВт/см². Для микроволновых печей стандартом является плотность мощности в 1 мВт/см² на расстоянии 5 см от печи.

Европейский стандарт (в том числе и российский) предполагает, что уровень плотности излучения от микроволновой печи не должен превышать 10 мкВт (0.01 мВт) на квадратный сантиметр на расстоянии 50 см. от источника излучения (рис. 1.32). Причиной такого расхождения стандартов послужили исследования, выполненные в Советском Союзе в 80-х годах, по нетепловому воздействию микроволн на живые организмы, в особенности на нервную систему. Зарегистрированы повышенная утомляемость и бессонница у людей, обслуживающих высокочастотное оборудование радио- и телевизионных станций. Нетепловое влияние наблюдалось также на энцефалограммах кроликов. Причины нетеплового воздействия на биологические объекты до конца не изучены; предполагается, что при этом происходят изменения в свойствах макромолекул и нервных мембран. Однако сразу оговоримся: при том уровне излучения, который допустим принятым стандартом т.е. более чем в тысячу раз меньшим безопасного уровня с точки зрения теплового воздействия), влияние нетепловых эффектов не обнаружено. Попутно заметим, что плотность излучения от сотового телефона, примерно на порядок превышает излучение от микроволновой печи.

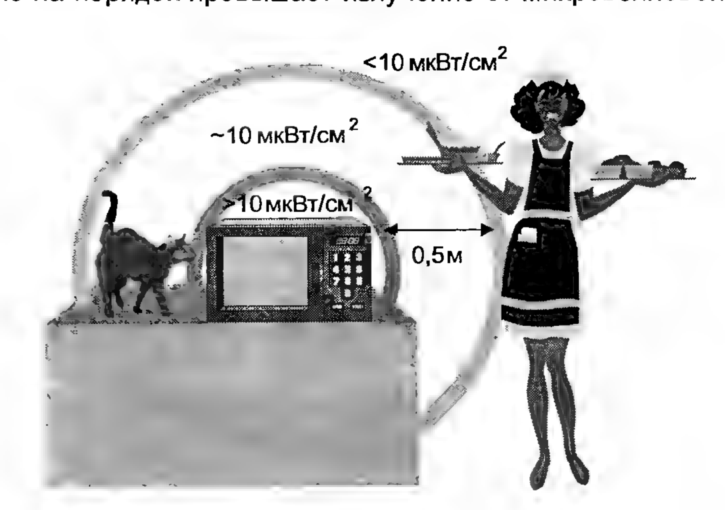



**Рис.1.32. Уровень безопасной плотности излучения от микроволновой печи**

Для промышленных установок уровень разрешенного излучения несколько выше. В таблице 1.2 указаны предельно допустимые уровни плотности мощности в диапазоне частот 300 МГц—300 ГГц в зависимости от продолжительности воздействия (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96).

Все выпускаемые печи удовлетворяют требованиям безопасности, а хорошие микроволновые печи имеют уровень излучения в десятки раз ниже допустимого. Однако некоторые микроволновые печи со временем могут превысить допустимые нормы плотности излучения, но к роковым последствиям, тем не менее, это не приводит (если только это не дыры в корпусе или дверце).

До сих пор мы рассматривали только негативное влияние микроволнового излучения на биологические объекты. Это может создать у читателя однобокое представление о предмете. Попробуем выровнять чашу весов, отметив некоторые преимущества приготовления пищи в микроволновой печи.

Поскольку микроволновое излучение обеспечивает очень быстрое приготовление пищи и нагрев ее происходит изнутри, уменьшается разрушение содержащихся в продуктах витаминов. В таблице 1.3 приведены примеры степени сохранения полезных витаминов и сравнение с другими способами приготовления пищи.

**Таблица 1.2**

| Продолжительность воздействия | Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, (мВт/см$^2$) | Продолжительность воздействия | Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, (мВт/см$^2$) |
|---|---|---|---|
| 8.0 и более | 0.025 | 3.5 | 0 057 |
| 7.5 | 0.027 | 3.0 | 0.067 |
| 7.0 | 0.029 | 2.5 | 0.080 |
| 6 5 | 0 031 | 2.0 | 0.100 |
| 6.0 | 0.033 | 1.5 | 0.133 |
| 5.5 | 0.036 | 1.0 | 0.2 |
| 5.0 | 0.040 | 0.5 | 0.4 |
| 4.5 | 0.044 | 0.25 | 0.8 |
| 4.0 | 0.050 | 0.2 и менее | 1.0 |

**Таблица 1.3**

| Продукты | Витамины | В сыром виде | Микроволновая печь | Обжаривание | Кипячение | Электрическая печь |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Шпинат | C | 100% | 82% | 69% | | |
| Капуста | | 100% | 93% | 73% | | |
| Перец | | 100% | 80% | 79% | | |
| Сладкий картофель | | 100% | 88% | | 70% | 35% |
| Печеные яблоки | | 100% | 82% | | | 35% |
| Бифштекс | B | 100% | 71% | 68% | | |
| Печеная свинина | | 100% | 66% | | | 64% |

Углубленные лабораторные исследования показали, что микроволновое излучение обладает стерилизующим действием в отношении стафилококков, кишечных палочек и других микроорганизмов. Причина этого эффекта заключается в том, что температура внутри продуктов возрастает очень быстро при одновременном диэлектрическом нагреве протеинов микроорганизмов. Происходит так называемый “тепловой удар”, отправляющий микроорганизмы в нокаут. В качестве иллюстрации на рис. 1.33 показано сравнение стерилизующего воздействия обычного и микроволнового нагрева на возбудителей сенной лихорадки.

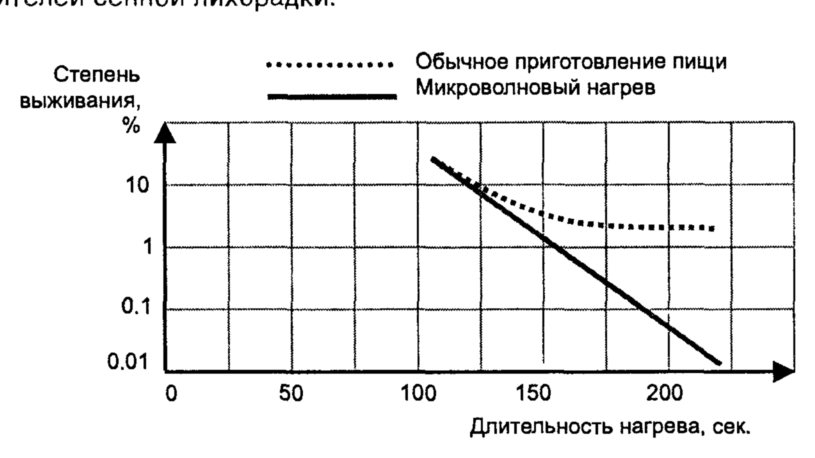



**Рис. 1.33. Степень выживания возбудителей сенной лихорадки при обработке продуктов обычным способом и с помощью микроволнового нагрева**

Как легко видеть из рисунка, эффект стерилизации при использовании микроволнового излучения в сотни раз выше, чем при обычных способах приготовления пищи.

# 2. Анатомия микроволновой печи

Прежде чем перейти к содержанию новой главы, коротко рассмотрим ее структуру и мотивы именно такого изложения материала. В настоящее время количество названий микроволновых печей измеряется сотнями и постоянно появляются новые модели. Поэтому в рамках одной книги невозможно подробно описать работу всех существующих микроволновых печей. Кроме того, в этом нет никакого смысла, поскольку многие их узлы и связанные с ними неприятности похожи, как близнецы. Вероятность того, что читателю придется ремонтировать микроволновку, не представленную в данной книге, достаточно велика. Поэтому материал излагается следующим образом: вначале описывается конструкция стандартной микроволновой печи и подробно рассматривается работа, особенности и типичные неисправности каждого узла. Затем таким же образом рассматривается работа типовых принципиальных схем. А при описании конкретных схем, приведенных в книге, внимание уделено только специфическим особенностям, присущим только данной модели.

Типовая конструкция микроволновой печи со снятым кожухом показана на рис. 2.1. Попытаемся изучить ее анатомию. Предварительно заметим, что, несмотря на кажущееся многообразие микроволновых печей, их внутреннее строение практически одинаково. В некоторые печи введены дополнительные элементы (гриль, конвектор и т.д.), однако это никак не отражается на тех элементах, которые обеспечивают микроволновый нагрев. Напрашивается сравнение из области физиологии. Страус внешне мало чем похож на воробья, однако оба состоят из органов, которые одинаковы и по названию, и по функциональному назначению, и по принципу действия.

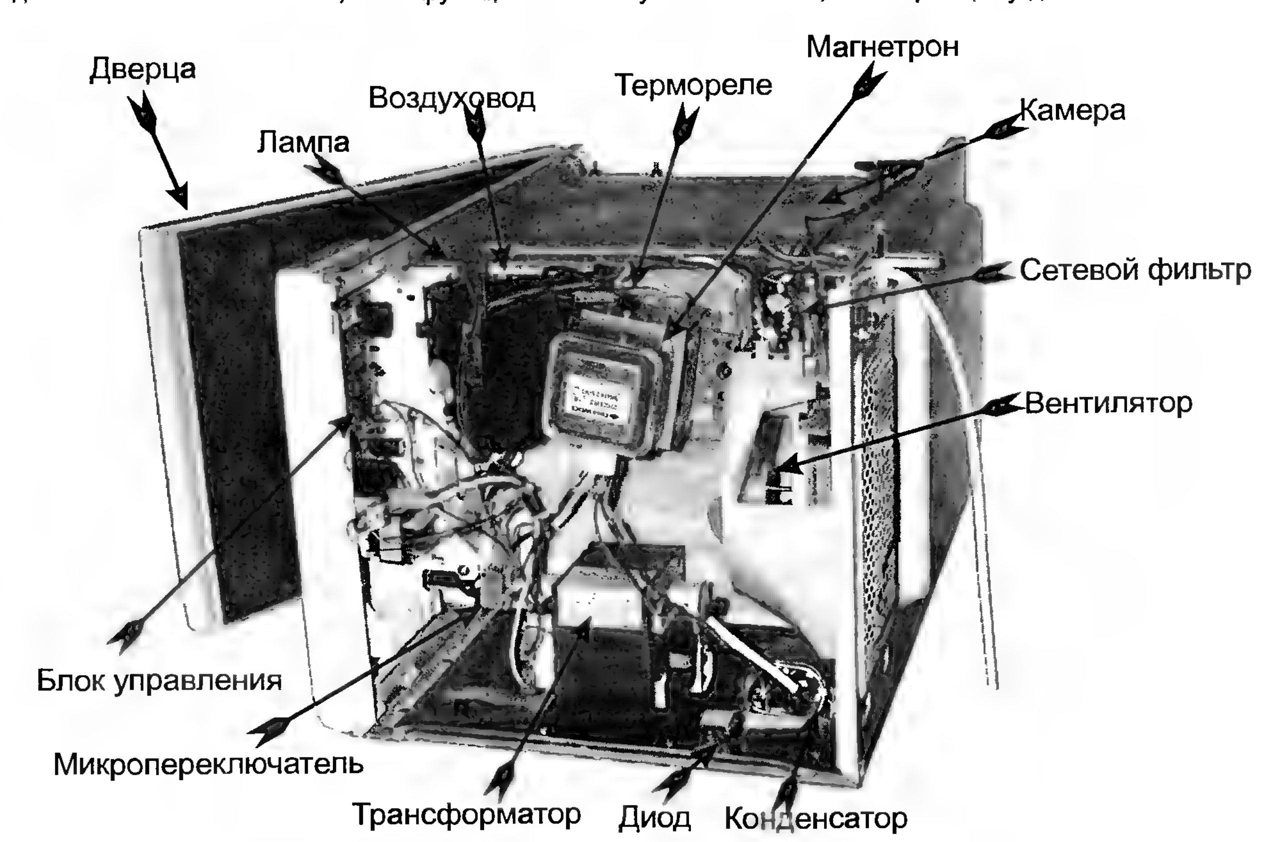



**Рис. 2.1. Внешний вид микроволновой печи со снятым кожухом**

Приготовление пищи происходит в металлической камере, снабженной дверцей для защиты от излучения. Для обеспечения равномерного нагрева пищи служит вращающийся столик, который приводится в движение микродвигателем, находящимся под камерой. Иногда вместо вращающегося столика с той же целью используется диссектор — металлическая деталь, по внешнему виду напоминающая пропеллер, который располагается в верхней части камеры и прикрывается диэлектрическим окном из радиопрозрачного материала. Микроволновая энергия поступает в камеру от магнетрона, как правило, через отрезок прямоугольного волновода. Для охлаждения магнетрона в процессе работы предназначен вентилятор. Теплый воздух от магнетрона через воздуховод направляется в камеру, обеспечивая дополнительный подогрев пищи, и затем вместе с образуемым паром выводится наружу через специальные неизлучающие отверстия. Высоко-

вольтный блок питания магнетрона состоит из трансформатора, конденсатора и диода. Часто имеется также фьюз-диод, назначение которого мы выясним позже. Чтобы не допустить работу микроволновой печи с неплотно закрытой дверцей, используются блокировочные микропереключатели. В зависимости от типа микроволновой печи их насчитывается от 2 до 5 штук. Освещение в камере осуществляется лампой накаливания, обычно располагаемой внутри воздуховода. Режим работы печи задается с помощью блока управления. Последний может быть выполнен либо в виде электромеханического таймера, либо в виде электронного блока, как правило, на основе микроконтроллера. Для предотвращения наводок от работающей микроволновой печи во внешнюю цепь используется сетевой фильтр, на котором размещены также один или два предохранителя. Чтобы исключить выход печи из строя из-за перегрева, многие из них имеют термореле, которые обычно располагаются на магнетроне и на камере с внешней стороны.

Мы рассмотрели конструкцию стандартной микроволновой печи. Можно сказать, что любая печь содержит вышеназванные элементы. Исключения можно пересчитать по пальцам, поэтому там, где имеются отличия, о них будет сказано особо. Теперь перейдем к более детальному изучению узлов, составляющих микроволновую печь.

## 2.1. Камера микроволновой печи

Основная проблема, возникающая в камере микроволновой печи, — это неравномерность нагрева продукта. Причина заключается в том, что камера, по сути, представляет собой резонатор, колебания в котором происходят в виде стоячих волн. Особенностью стоячих волн является наличие пространственных максимумов и минимумов электрического поля. Для наглядности на рис. 2.2а — д показано изменение электрического поля за полпериода колебаний на виде $H_{220}$.

Выбор данного вида обусловлен тем, что он не имеет вариаций поля вдоль координаты Z, поэтому в любом сечении, в плоскости X-Y, распределение поля одинаково. Это позволяет вместо координаты Z изобразить амплитуду напряженности электрического поля, что облегчает понимание происходящих процессов. Вдоль координат X и Y амплитуда поля меняется по синусоиде. Так как вдоль каждой из координат обычно укладывается несколько полупериодов, то в рабочей части камеры имеются точки, в которых поле равно нулю. Для нагрева продукта полярность электрического поля не имеет значения, поэтому в дальнейшем приводятся рисунки, в которых по вертикальной оси отложен квадрат амплитуды, характеризующий выделяемую в продукте мощность P (рис. 2.2е).

Из рисунка хорошо видно, что при работе на одном виде колебаний мощность в камере распределена очень неравномерно, изменяясь от нуля до своего максимального значения, поэтому продукт в одно и то же время может в одних местах подгорать, а в других оставаться совершенно холодным.

Камера микроволновой печи работает на высших видах колебаний, количество которых может быть достаточно велико. Например, на рис. 2.3а показаны виды колебаний, существующие в камере с поперечными размерами 20x26x20 см. Нетрудно заметить, что по мере удаления от основной частоты плотность видов колебаний возрастает, стремясь в бесконечности к сплошному спектру. Для равномерного нагрева желательно иметь как можно больше видов вблизи рабочей частоты. Достичь этого при фиксированной частоте излучения генератора можно несколькими путями. Один из них — увеличение размеров камеры. В этом случае основной вид и все последующие смещаются в область низких частот, а на рабочей частоте окажутся более плотно расположенные высокочастотные виды (рис. 2.3б). Загрузка камеры приводит примерно к такому же результату, что и увеличение ее размеров. Это объясняется тем, что продукты питания, примерно на 80% состоящие из воды, имеют большую диэлектрическую проницаемость. А при заполнении резонатора диэлектриком с $\varepsilon>1$ его резонансные частоты смещаются в область более низких значений. При загрузке камеры снижается также и ее добротность, что, в свою очередь, приводит к расширению полосы рабочих частот и, как следствие, к увеличению количества рабочих видов колебаний. Это хорошо видно из рассматриваемых рисунков, в которых затененной областью отмечены рабочие виды колебаний при малой (рис. 2.3а) и большой (рис. 2.3б) загрузках камеры.

Необходимо отметить, что амплитуды показанных на рис. 2.3 видов неодинаковы и в зависимости от вида колебаний и способа возбуждения они могут меняться в широких пределах. Практически очень трудно создать элемент возбуждения, благоприятный для всех видов. Как правило, некоторые виды либо плохо возбуждаются, либо не возбуждаются совсем. Кроме того, само по себе наличие большого количества видов еще не обеспечивает равномерного нагрева. Суммарное электрическое поле, образованное суперпозицией всех видов колебаний, может быть очень слож-

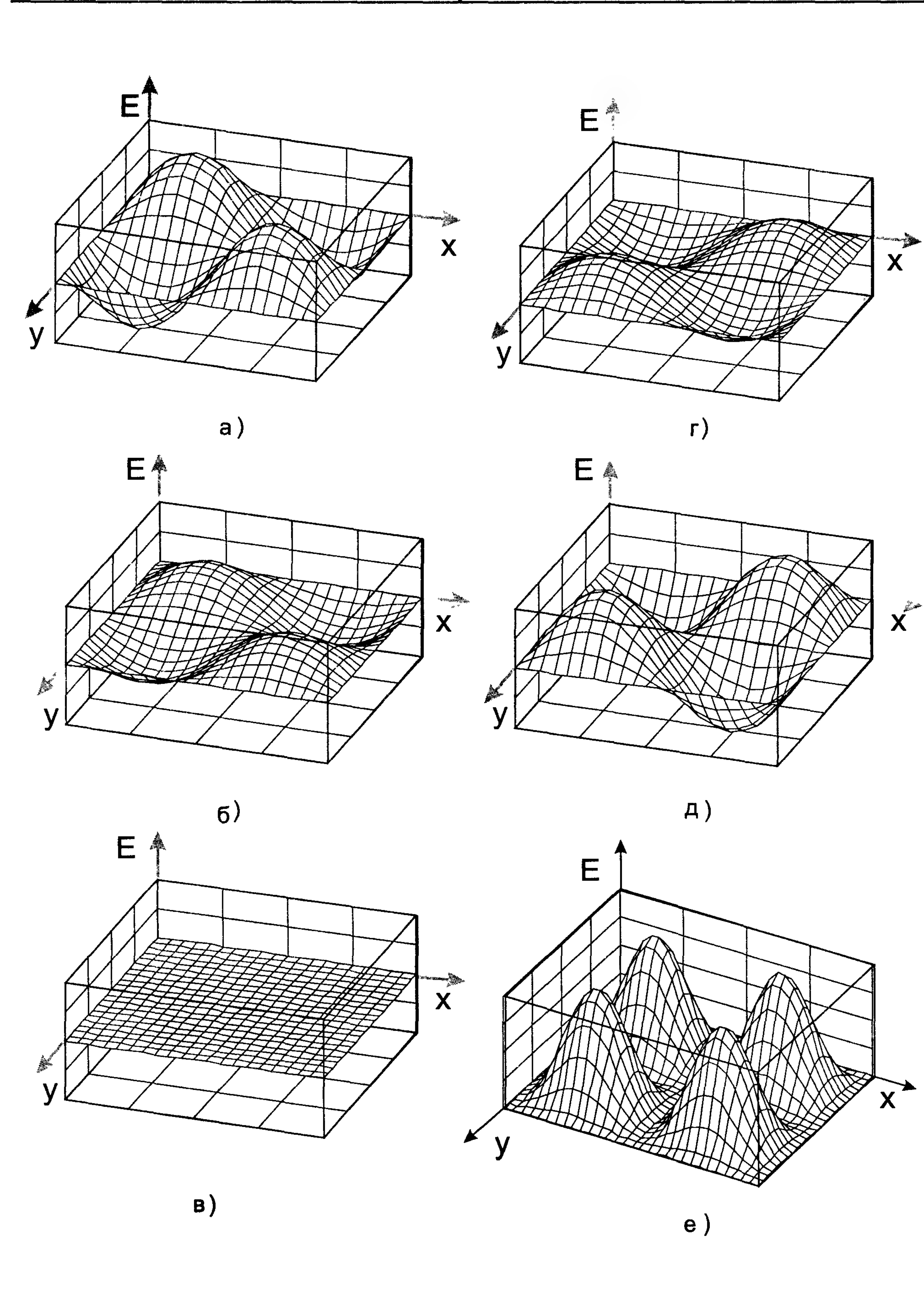



Рис. 2.2. Изменение распределения электрического поля (а — д) и распределение мощности (е) в камере микроволновой печи на виде $H_{220}$ за полпериода колебаний

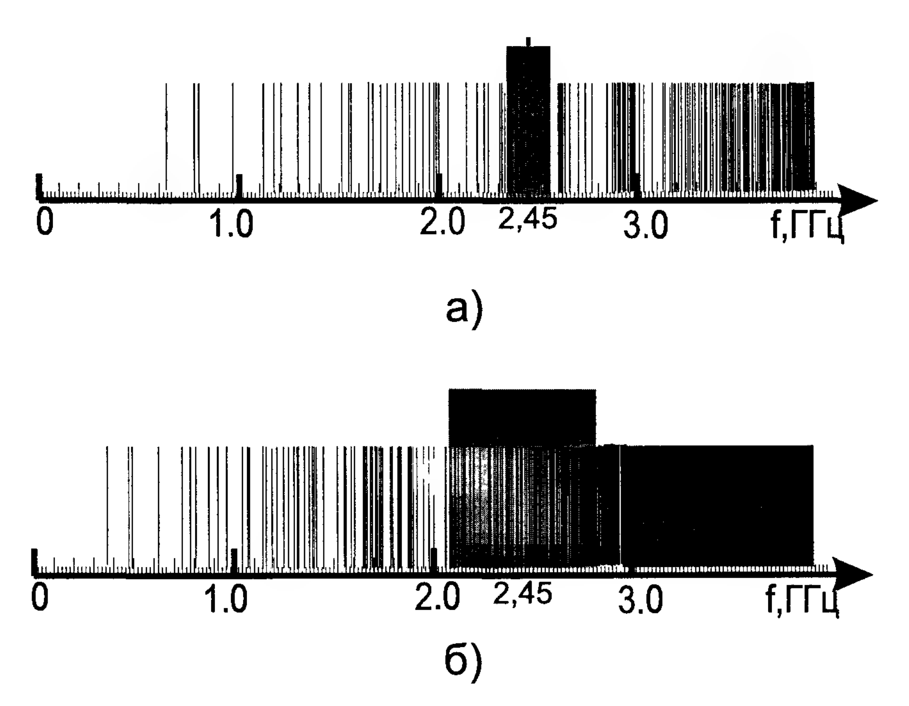



**Рис. 2.3.** **Спектр резонансных частот при малой (а) и большой (б) загрузках камеры. Затененной областью отмечены рабочие виды колебаний**

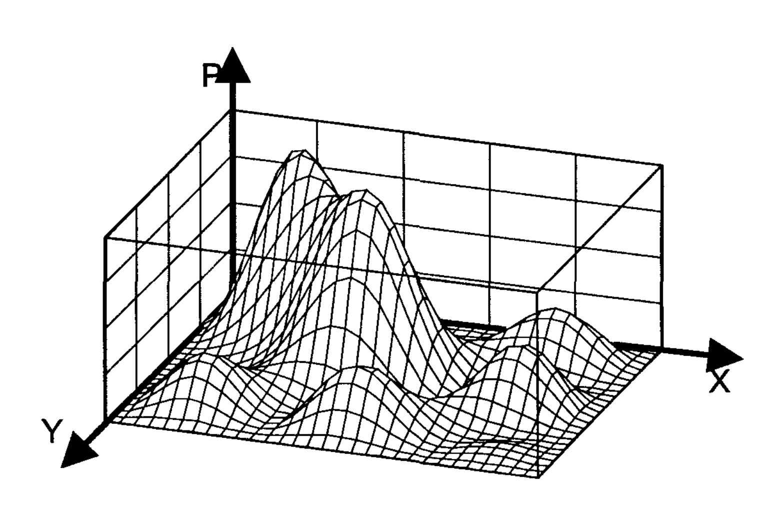



**Рис. 2.4.** **Распределение мощности в камере при одновременном возбуждении видов $H_{110}$, $H_{120}$, $H_{210}$, $H_{220}$, $H_{330}$, $H_{440}$**

ным, но в любом случае из-за чередования направленности оно будет содержать максимумы и нулевые точки. Пример такого поля приведен на рис. 2.4.

При наличии поглощающей нагрузки, каким является продукт, распределение полей в камере усложняется. Наряду с рассмотренными ранее E и H видами появляются гибридные виды колебаний, характеризующиеся наличием составляющих магнитного и электрического полей по всем трем координатам. Это способствует некоторому выравниванию температуры нагрева в различных частях камеры. Причем, чем больше продукта находится в камере, тем равномернее происходит его нагрев. Выравнивание температуры происходит также за счет конвекции и теплопроводности. Однако всего этого явно недостаточно для нормального приготовления продуктов. Исправить положение можно, если имеющиеся виды колебаний или хотя бы часть из них включать поочередно. Добавление или, наоборот, изъятие любого вида приводит к изменению общей структуры электрического поля. То же самое происходит, когда меняется соотношение амплитуд различных видов. Участки с максимальной и минимальной амплитудой смещаются в пространстве камеры и могут меняться местами. В результате каждый участок продукта в процессе приготовления пищи поочередно подвержен влиянию полей различной конфигурации и интенсивности. При большом ко-

личестве комбинаций нагрев в рабочей области камеры может быть достаточно равномерным. Исключение составляют участки вблизи ребер и в углах камеры, где поле даже теоретически не может быть велико. В качестве примера на рис. 2.5 показано распределение плотности мощности электромагнитного поля за некоторый промежуток времени при последовательном возбуждении нескольких видов.

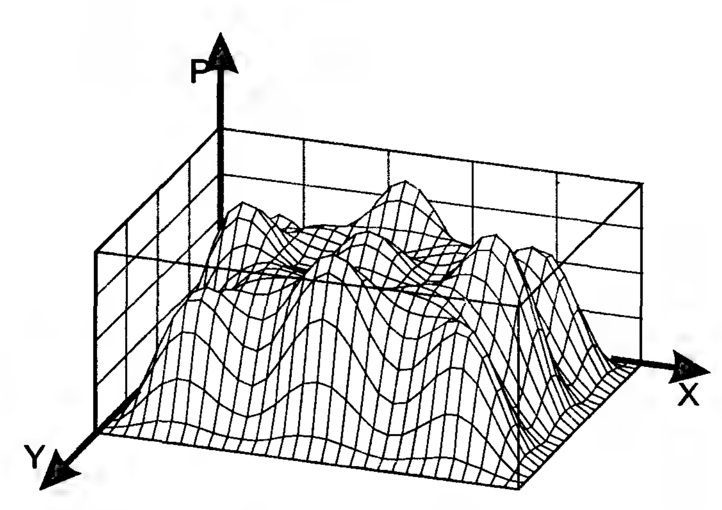



**Рис. 2.5. Распределение средней мощности в камере при поочередном возбуждении видов $H_{110}$, $H_{120}$, $H_{210}$, $H_{220}$, $H_{330}$, $H_{440}$**

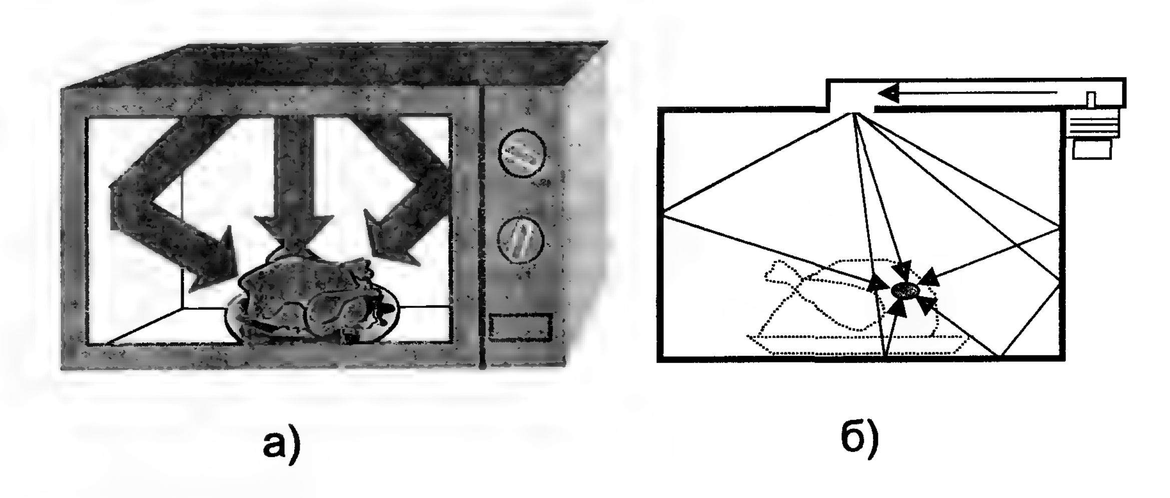



**Рис. 2.6. Поглощение энергии**

В построении двух последних рисунков участвовали одни и те же виды колебаний, но отличия в конечном результате видны невооруженным взглядом. Таким образом, даже относительно небольшое число видов при их правильном возбуждении могут обеспечить требуемую равномерность нагрева продукта. Суворов говорил, что воевать нужно не числом, а уменьем, и, как видим, его слова справедливы не только на полях сражений.

Рассмотрим этот же вопрос с несколько иной точки зрения. Очень часто в инструкциях по пользованию микроволновой печью приводятся рисунки, поясняющие принцип ее действия (рис. 2.6а). Суть комментариев к таким рисункам сводится к следующему: микроволновая энергия от генератора, поступая в камеру, поглощается продуктами либо непосредственно, либо после одного или нескольких отражений от ее стенок. В результате этого продукт нагревается сразу со всех сторон. Не оспаривая по существу такой комментарий, хочется предостеречь читателя от ложных выводов, которые могут быть на нем основаны. Обратимся к рис. 2.6б, на котором схематично изображен рассматриваемый процесс. Выделим в объеме продукта небольшой кусочек и посмотрим, как будет происходить его нагрев. Микроволновая энергия может поступать в выделенный объем различными путями, часть из которых отмечена стрелками. Напряженность электрического поля в интересующем нас объеме будет векторной суммой полей, образованных волнами всех направлений. Векторная сумма подразумевает, что в процессе сложения учитывается не только численное значение напряженности поля, но и его пространственная ориентация. Отсюда следует, что сум-

марное поле может оказаться меньше, чем каждое из слагаемых. Арифметическое сложение амплитуд непригодно даже в том случае, когда пространственная ориентация всех полей одинакова, поскольку волны, добравшиеся до рассматриваемого участка разными маршрутами, наверняка будут отличаться фазами. Следствием этого будет интерференция волн, приводящая к тому, что в разных точках сумма одних и тех же волн будет давать разный результат. Диапазон этих изменений будет колебаться от нуля до арифметической суммы амплитуд. Для того, чтобы поле действительно равномерно со всех сторон проникало в продукт, необходимо волны, идущие по разным направлениям, разделить во времени. В итоге мы пришли к тем же выводам что и прежде, когда рассматривали камеру как резонатор.

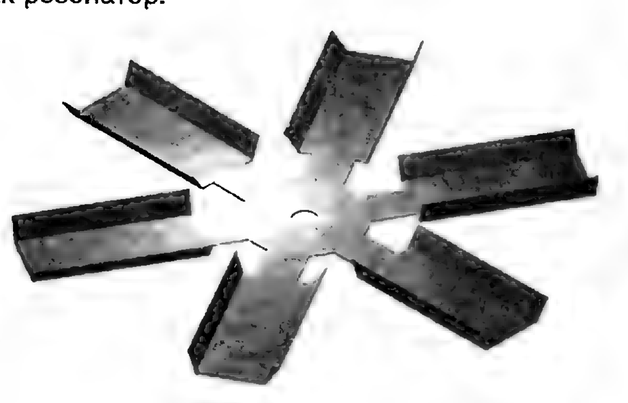


**Рис. 2.7. Диссектор**

Существует много различных устройств, реализующих селекцию видов во времени. Наибольшее распространение получили диссектор и вращающийся столик. Типичная конструкция диссектора показана на рис. 2.7.

Он представляет собой несколько металлических лопастей различной конфигурации, закрепленных на общей оси, которые расположены в непосредственной близости от ввода СВЧ энергии. Принцип действия диссектора состоит в следующем: во время вращения он своими лопастями возмущает электромагнитное поле в том месте, где СВЧ энергия поступает в камеру. В результате некоторые из существующих видов могут подавляться. При вращении диссектора условия возбуждения для различных видов меняются, в зависимости от взаимного расположения ввода энергии и ближайших к нему лопастей. Поэтому спектр электромагнитных колебаний, а соответственно и структура поля в камере постоянно видоизменяются. Для большей эффективности лопасти диссектора делают неодинаковыми, так чтобы каждая лопасть по-своему влияла на условия возбуждения. Дополнительный результат достигается за счет того, что вращение диссектора периодически изменяет форму камеры, что влияет на резонансные частоты. Однако этот эффект не стоит переоценивать. Если лопасти находятся на заметном расстоянии от ввода энергии, добиться высокой равномерности нагрева практически невозможно.

Достоинством диссектора является простота его конструкции и, как следствие, низкая стоимость и высокая надежность.

Недостатки напрямую связаны с принципом его действия. Чем лучше условия для перемешивания поля, тем хуже условия согласования. В настоящее время не существует способа, позволяющего рассчитать диссектор так, чтобы при любом угле поворота он влиял только на те виды колебаний, которые мы хотим подавить, не затрагивая остальные. Практически всегда подавляются все виды, только в разной степени. Поэтому при вращении диссектора постоянно меняется согласование камеры с СВЧ трактом. И, естественно, не в лучшую сторону. Как отмечалось в предыдущей главе, ухудшение согласования приводит к более напряженному режиму работы магнетрона и к снижению его к.п.д. Таким образом, настройка диссектора — это всегда компромисс между согласованием и равномерностью нагрева, которая, как правило, не очень высока. Поэтому может возникнуть желание самостоятельно исправить положение. Настоятельно рекомендую не делать этого без крайней необходимости, особенно в импортных печах. Иначе может оказаться, что после первого же усовершенствования каждый ваш последующий шаг будет безрезультатной попыткой вернуть все в предыдущее состояние. Приступать к ремонту следует только при наличии явных неисправностей в работе диссектора, к которым можно отнести искрение, отсутствие вращения и слишком большую неравномерность нагрева.

Искрение возникает, когда лопасти диссектора в момент вращения соприкасаются или очень близко приближаются к металлической оболочке камеры. Причиной этого может быть некоторый

наклон оси вращения. Устранить искрение можно, либо выправив ось, либо отогнув лопасти диссектора таким образом, чтобы зазор между ними и камерой нигде не снижался менее чем до 4 — 5 мм.

Вращение диссектора в микроволновых печах обеспечивается двумя способами: воздушным потоком от вентилятора, охлаждающего магнетрон, или с помощью ременной передачи. Последний вариант характерен для печей российского производства. В этом случае наиболее вероятная неисправность — это обрыв одного из пассиков между шкивами вентилятора и диссектора При использовании первого способа отсутствие вращения может быть вызвано несколькими причинами. Большинство из них выявляется сразу после вскрытия, и рассматривать их мы не будем. Менее очевидные причины связаны с плохой работой вентилятора. Иногда его лопасти прокручиваются на оси, а иногда он не достигает нужных оборотов. В результате мощность воздушного потока оказывается недостаточной для раскрутки диссектора. Кроме того, это негативно сказывается на охлаждении магнетрона.

До сих пор равномерность нагрева мы характеризовали терминами “хорошая” и “плохая”. Такой градации явно маловато, даже для самой примитивной регулировки. Все равно что деньги считать, оперируя понятиями “мало” и “много”. Используя такую “систему исчисления”, товарно-денежные отношения между продавцом и покупателем вполне могут окончиться безрезультатно, если не считать результатом факты рукоприкладства. Чтобы избежать подобных недоразумений, существует ряд стандартов, позволяющих оценить равномерность нагрева в численной форме. При этом следует помнить, что любой стандарт определяет ее лишь приближенно, тем более, что и сама равномерность нагрева величина не постоянная, а зависит от вида и количества загружаемого продукта.

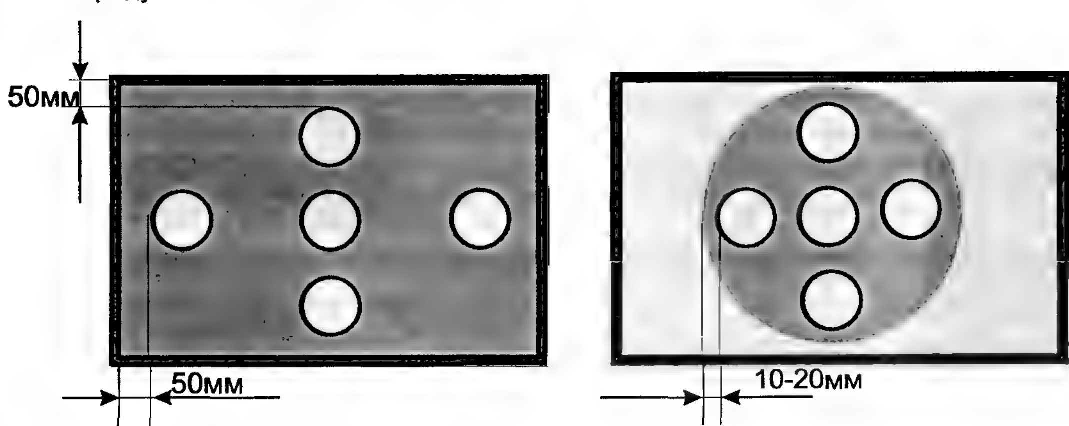



**Рис. 2.8. Расположение стаканов в камере микроволновой печи при измерении равномерности нагрева**

В соответствии с НВН-100 ГОСТ 19308-80, для определения равномерности нагрева на дно камеры микроволновой печи устанавливают 5 стаканов, содержащих по 100±3 мл водопроводной воды. Стаканы располагаются так, как показано на рис 2.8.

Температура воды, которая не должна превышать +20°С, измеряется ртутным термометром с ценой деления 0.1°С. После этого на 2 минуты производится включение СВЧ нагрева. Затем в течение не более 15 секунд вода в стаканах перемешивается и измеряется ее конечная температура.

Коэффициент равномерности определяется по формулам:

$$k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |\Delta t_c - \Delta t_i|}{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i}$$

$$\Delta t_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i}{n}$$

$$\Delta t_i = t_{iн} - t_{iк}$$

где $t_{iк}$ и $t_{iн}$ — температура воды в i-м стакане после нагрева и до него.

Приведем численный пример: предположим, что начальная температура во всех стаканах имела 12°С. После нагрева температура в стаканах распределилась следующим образом:

| *№ стакана* | *Температура, °С* |
|---|---|
| 1 | 40 |
| 2 | 50 |
| 3 | 41 |
| 4 | 37 |
| 5 | 42 |

Вычислим приращение температуры $\Delta t_i$ для каждого стакана:

| *№ стакана* | $\Delta t_i$ |
|---|---|
| 1 | 40-12=28 |
| 2 | 50-12=38 |
| 3 | 41-12=29 |
| 4 | 37-12=25 |
| 5 | 42-12=30 |

Найдем среднюю температуру $\Delta t_c$:

$$\Delta t_c = \frac{28 + 38 + 29 + 25 + 30}{5} = 30$$

Определим отклонение от средней температуры $|\Delta t_c - \Delta t_i|$:

| № стакана | $\lvert\Delta t_c - \Delta t_i\rvert$ |
|---|---|
| 1 | \|30-28\|=2 |
| 2 | \|30-38\|=8 |
| 3 | \|30-29\|=1 |
| 4 | \|30-25\|=5 |
| 5 | \|30-30\|=0 |

Найдем коэффициент равномерности K:

$$K = 1 - \frac{2 + 8 + 1 + 5 + 0}{28 + 38 + 29 + 25 + 30} \cong 0.89$$

Отраслевой стандарт ОСТ 11 0367-83 утверждает, что коэффициент равномерности должен быть не менее 0.7. Отчасти с этим можно согласиться, поскольку при коэффициенте ниже 0.7 ни о какой равномерности говорить не приходится. Однако эта цифра не может считаться образцом, на который следует равняться, и скорее свидетельствует о стремлении оградить отечественного производителя от необузданных притязаний потребителя. Хорошо спроектированные и изготовленные печи имеют коэффициент равномерности более 0.9.

Другим устройством, обеспечивающим равномерный нагрев продукта, является вращающийся поддон. Конструктивно он обычно состоит из микродвигателя со встроенным редуктором, стеклянного или металлического поддона и муфты, снабженной роликами (рис. 2.9).

На первый взгляд, принцип действия рассматриваемой конструкции очевиден и не требует комментариев. Вращаясь в неравномерно распределенном электрическом поле, каждая точка продукта (за исключением центра вращения) поочередно попадает в места с разной интенсивностью поля. В течение полного оборота поглощаемая мощность усредняется, что дает выравнивание температуры. Не отрицая существования описанного эффекта, добавим к нему еще один, не менее

значимый. Если продукт физически неоднороден или расположен несимметрично относительно центра вращения (обычно так и бывает), то при его вращении распределение полей различных видов колебаний будет заметно меняться. В этом случае сам продукт выступает в роли диссектора, причем более эффективного, чем металлический. Поэтому даже в центре вращения напряженность электрического поля будет постоянно изменяться, обеспечивая дополнительную равномерность нагрева. При такой конструкции теоретически возможен равномерный нагрев, даже если имеется всего один вид колебаний.



**Рис. 2.9. Микродвигатель и муфта, обеспечивающие вращение поддона**

Таким образом, достоинством вращающегося поддона является более высокая по сравнению с диссектором равномерность нагрева и лучшее согласование камеры с СВЧ трактом, поскольку в этом случае равномерность нагрева обеспечивается не за счет подавления видов.

Неисправности вращающегося поддона в основном связаны с выходом из строя микродвигателя, но, прежде чем приступать к его замене или ремонту, необходимо убедиться, во-первых, что на него поступает напряжение 220 В, а во-вторых, что муфта, посаженная на вал двигателя, не прокручивается. Для замены подойдет любой двигатель от микроволновой печи, если он соответствует по габаритам и крепежным отверстиям. В микродвигателях обычно встречаются два типа поломок: перегорание обмотки или обламывание зубьев пластмассовых шестеренок во встроенном редукторе. Для того чтобы разобрать двигатель, необходимо отжать зажимы на лицевой стороне и снять верхнюю крышку. Дальнейшая разборка сложности не представляет, но, если не запомнить, в каком порядке расположены шестерни редуктора, проблемы возникнут при последующей сборке.

Обмотка двигателя представляет собой обычную катушку с тонким изолированным проводом, и для ремонта достаточно его заменить. Типичный двигатель содержит примерно 5000 — 6000 витков провода диаметром 0.03 мм. Можно использовать и провод диаметром 0.05 мм, при ремонте это даже предпочтительней, поскольку он прочнее и меньше рвется при намотке. Более толстый провод может не уместиться на катушке.

Если неприятности возникли из-за поломки зуба в одной из шестеренок редуктора, то в некоторых случаях удается оказать эффективную “стоматологическую” помощь. Для этого на месте сломанного зуба, разогретым паяльником можно вплавить маленький кусочек стального провода, например от канцелярской скрепки, подходящего диаметра. Внешний вид шестерни с аналогичным “протезом” показан на рис. 2.10.

В микроволновых печах с металлическим поддоном иногда возникает искрение между ним и дном камеры. Это происходит при разрушении эмали, покрывающей поддон, как правило, на самой кромке. Устранить искрение можно путем изоляции мест с поврежденной эмалью, например тонким слоем лака, эмали или эпоксидного клея.

В некоторых печах (например, “Электроника СП-25”) не совсем удачно выбран материал для роликов. В результате они со временем теряют форму и перестают вращаться. В этом случае ролики требуется заменить. Из доступных материалов наиболее подходящими для изготовления новых роликов являются фторопласт-4 (тефлон) и полиэтилен.

Место ввода СВЧ энергии в камеру прикрывается специальной крышкой из непоглощающих изоляционных материалов. Это сделано для того, чтобы предотвратить попадание влаги и грязи в волновод и на антенну магнетрона. Загрязнение изолятора антенны может привести к поверхностному электрическому пробою и, как следствие, к выходу магнетрона из строя. При нормальной ра-

боте крышка практически не поглощает энергии и не влияет на нагрев микроволновой печи. Тем не менее не редки случаи, когда упомянутая деталь начинает интенсивно гореть, с искрением и едким дымом. В подавляющем большинстве случаев причины такого буйного поведения мирной детали кроются в неправильной эксплуатации печи. Основная причина — это включение при недостаточной загрузке или вовсе без нее. Какими бы малыми ни были поглощающие свойства крышки, но, если в камере печи больше нет объектов, где бы микроволновая энергия могла продемонстрировать свою мощь, она начинает перегреваться, а из-за повышенной напряженности электрического поля, существующей при недостаточном объеме загрузки, на ее поверхности возникают пробои. Результатом таких пробоев будет обугливание некоторой части крышки, поэтому в дальнейшем процесс может лавинообразно нарастать, даже если последующие включения печи производить в соответствии с правилами. Еще одной причиной, приводящей к аналогичным последствиям, может служить чрезмерная загрязненность крышки. Диэлектрические свойства грязи далеки от идеальных, поэтому она будет поглощать энергию и перегреваться. При определенных условиях температура загрязнений может дойти до такого значения, при котором они начнут обугливаться. Дальнейший ход событий полностью повторяет предыдущий сценарий.



**Рис. 2.10.** *Пластмассовая шестерня с восстановленным зубом*

Если процесс обугливания не зашел слишком далеко, восстановить работоспособность микроволновой печи можно, сняв крышку и удалив загрязненные и обуглившиеся места. Выражение “не слишком далеко” означает, что в процессе зачистки вы удалили все лишнее и при этом не дошли до сквозных отверстий. Качество своей работы вы легко можете проверить, посмотрев крышку на просвет. Обугленные участки менее прозрачны и поэтому затемнены. Новую крышку можно изготовить самому. Самое главное — подобрать подходящий материал, прозрачный для микроволн. Для этой цели может быть использован фторопласт или полиэтилен. Толщину следует выбирать минимальной, но обеспечивающей необходимую жесткость. Обычно это 0.5 — 1.0 мм. При небольших размерах крышки ее можно с успехом вырезать из коробки из-под сливочного масла, удалив при этом краску.

Одна из наиболее важных и технически сложных деталей микроволновой печи — это дверца камеры. С одной стороны, она должна обеспечить быстрый доступ к камере и возможность визуального наблюдения за процессом приготовления пищи, а с другой — обеспечить надежную защиту от микроволнового излучения. Рассмотрим устройство типичной дверцы микроволновой печи (рис. 2.11).

Основная ее деталь — это металлический каркас 1, имеющий специально рассчитанный профиль. Для улучшения дизайна каркас помещен в декоративную пластиковую оболочку 2. С той же целью имеющиеся с внутренней стороны лазы прикрыты пластиковым вкладышем 3. Назначение прозрачного плексигласового окна 4 в комментариях не нуждается.

Для фиксации дверцы в закрытом состоянии служат запоры 5 и пружина 6. При закрытии дверцы запоры нажимают кнопки блокировочных микропереключателей 7, разрешающих работу электрической схемы. При открытой или неплотно закрытой дверце, если кнопка хотя бы одного из микропереключателей оказывается не нажатой, электрическая цепь оказывается разомкнутой и микроволновая печь не включится, как бы старательно и долго вы ни нажимали на кнопку “ПУСК”. Рычаг 8 позволяет отжать запоры и открыть дверцу (механизм, соединяющий рычаг с кнопкой “ОТКРЫТЬ”, на рисунке не показан).

Для обеспечения визуального наблюдения за процессом приготовления пищи в дверце микроволновой печи имеется окно 9, выполненное из тонкого, плотно перфорированного металлического листа, который, как правило, приваривается к каркасу дверцы. Иногда окно изготавливают в

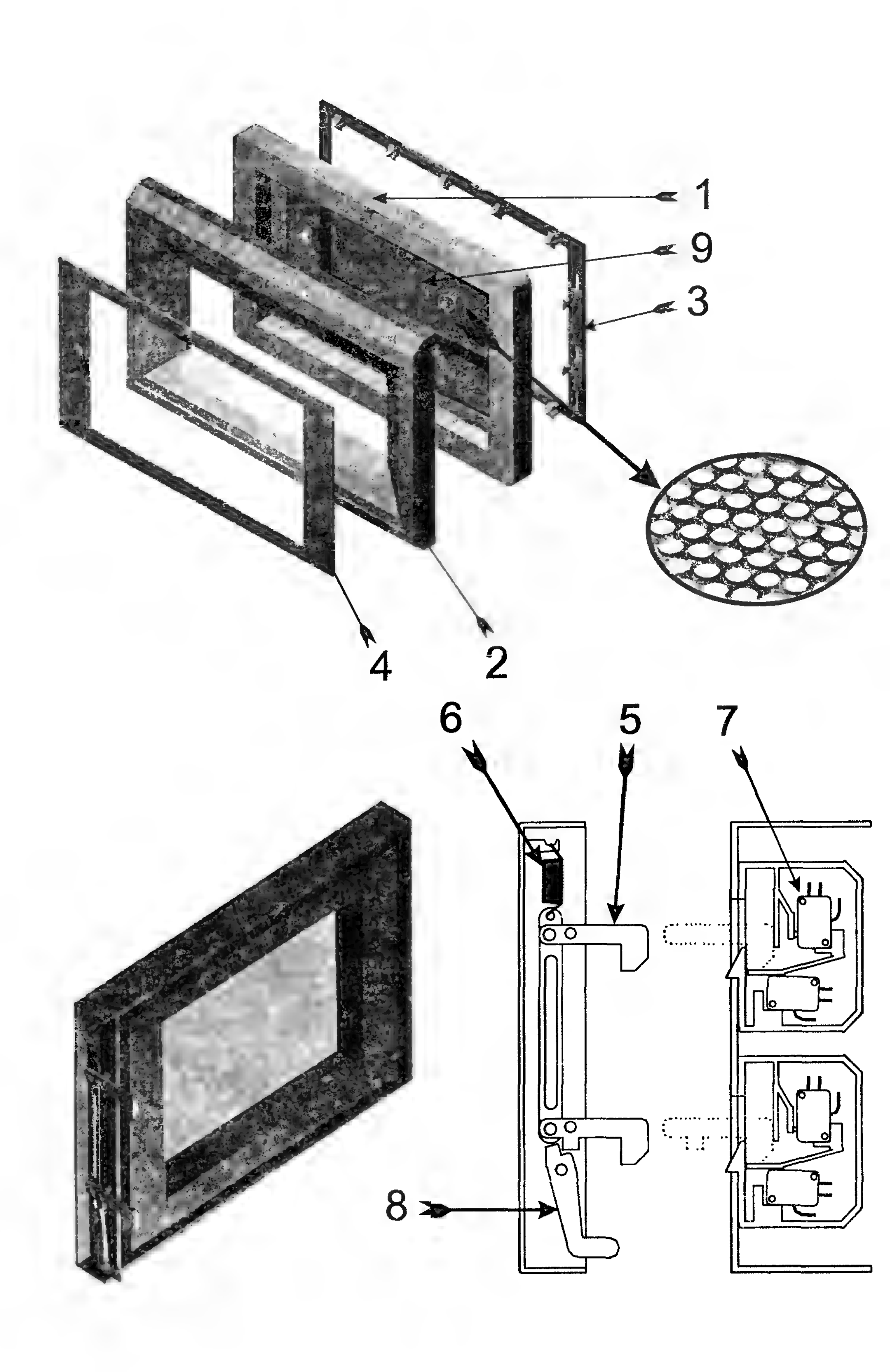



Рис. 2.11. Дверца микроволновой печи

едином технологическом цикле с каркасом, путем перфорации последнего в надлежащем месте. Размеры отверстий в окне не превышают 3 мм, что практически полностью исключает проникновение сквозь них микроволновой энергии.

Между корпусом и дверцей микроволновой печи почти всегда имеются щели. Очень сложно обеспечить плотный контакт этих деталей по всему периметру в течение всего срока эксплуатации. Если не принять соответствующих мер, микроволновое излучение будет проникать сквозь эти щели наружу, даже если их размер относительно невелик. Чтобы исключить такое развитие событий, в дверце имеется специальное устройство, именуемое СВЧ дросселем. Конструктивно он выполнен в виде паза, проходящего по всему периметру контакта дверцы с корпусом. На рис. 2.12 показано поперечное сечение дросселя. В разных микроволновых печах форма его профиля может несколько отличаться от приведенной на рисунке, но принцип действия всех дросселей одинаков.

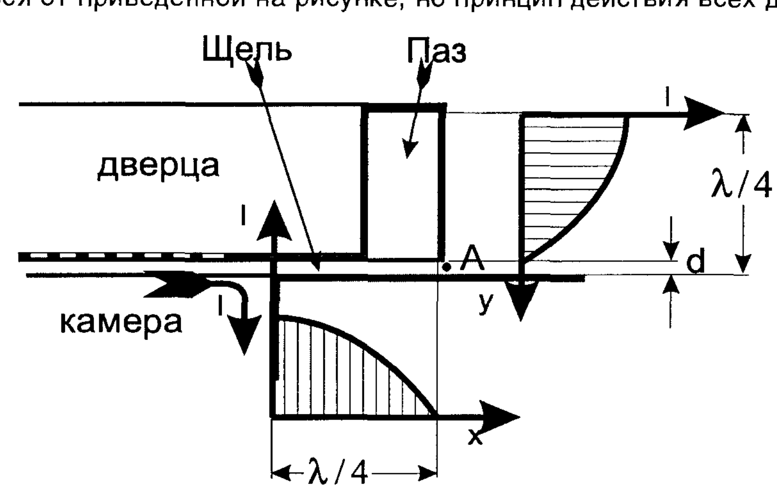



**Рис. 2.12. Принцип действия дроссельного уплотнения**

Как было показано в первой главе, излучение сквозь щель возникает в том случае, когда она обрывает линии СВЧ тока. Если в месте ее расположения СВЧ токи отсутствуют или ориентированы вдоль щели, излучения наблюдаться не будет. Таким образом, задача подавления СВЧ излучения сводится к тому, чтобы в месте контакта дверцы с камерой устранить поперечные СВЧ токи. Решая поставленную задачу в лоб, успеха не добиться, поскольку, обеспечивая равномерность нагрева, мы приняли все меры, чтобы направление и амплитуда СВЧ токов постоянно менялись. Рассмотрим, как справляется с этой проблемой СВЧ дроссель.

Паз располагается на расстоянии в четверть длины волны от отверстия камеры. Его глубина также равна λ/4. Два четвертьволновых отрезка образуют полуволновую линию с коротким замыканием на ее конце и разрывом в точке А, находящейся в середине линии. В короткозамкнутой полуволновой линии электромагнитное поле существует в виде стоячей волны. Это означает, что пространственное распределение электрического и магнитного поля, а следовательно, и токов не меняется. При выбранных размерах паза и расстоянии от него до камеры распределение токов вдоль зазора и паза будет таким, что в месте разрыва ток практически равен нулю. Поэтому просачивание электромагнитной энергии во внешнее пространство будет очень незначительным. Его величина напрямую зависит от амплитуды тока в месте разрыва, которая, в свою очередь, зависит от местоположения и размеров зазора. Для большей наглядности размеры зазора и паза на рисунке непропорциональны. В действительности зазор обычно не превышает 0.1 мм, в то время как четверть длины волны составляет более 30 мм.

Из электродинамики известно, что входное сопротивление короткозамкнутой полуволновой линии равно нулю. Физически это означает, что зазор шириной d между стенкой камеры и дверцей практически не представляет никакого сопротивления для тока I, протекающего в указанном на рисунке направлении. Здравомыслящему, но непосвященному читателю такое утверждение может показаться абсурдом, поскольку непонятно, каким образом электроны, как носители тока, могут преодолеть подобную преграду. Сравнение с конденсатором в данном случае не годится, так как емкость зазора относительно невелика. Ответ легко найдется, если вспомнить принцип действия трансформатора, в котором электрически изолированные друг от друга обмотки обмениваются энергией с помощью магнитного поля. В нашем случае происходит нечто подобное. Ток, протекающий с одной стороны зазора, создает в нем магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает ток на противоположной стороне. Разница лишь в том, что вместо магнитопровода и большого ко-

личества витков мы используем полуволновую линию. Таким образом, преобразовав щель в полуволновую линию, мы избавились от необходимости в хорошем электрическом контакте между дверцей и стенками камеры. Более того, непосредственный электрический контакт, из-за непредсказуемости его возникновения и влияния на параметры дросселя, в микроволновых печах искусственно устраняется. Для этого внутреннюю сторону дверцы, а иногда и камеры, покрывают эмалью. Такое покрытие, кроме всего прочего, устраняет возможное искрение между дверцей и стенками камеры.

Рассмотрим основные неисправности, связанные с работой дверцы.

В некоторых печах, особенно старых типов конструкции, наблюдается повышенное фоновое излучение. В большинстве случаев это вызвано увеличением зазора d между дверцей и лицевой плоскостью камеры. Нормальный зазор соизмерим с толщиной листа машинописной бумаги. Поэтому вышеупомянутый лист может служить своеобразным инструментом, с помощью которого мы достаточно легко можем определить, соответствует ли зазор требуемым параметрам. Если между дверцей и камерой лист проходит с усилием или не проходит вообще, значит, все в порядке, если же лист входит свободно, значит, необходимо уменьшить зазор. Измерение величины зазора необходимо проводить по всему периметру дверцы. Сразу оговоримся, что регулировку дверцы можно проводить только при наличии приборов, позволяющих измерить величину фонового излучения. Делать это вслепую не только бессмысленно, но и опасно. Если не для жизни, то для зрения.

Имеются лишь две точки, где есть возможность регулировки зазора. Во-первых, в месте крепления дверцы к камере. Если повышенный фон наблюдается со стороны крепления, нужно ослабить винты, крепящие дверцу, придвинуть ее к камере, чтобы устранить зазор, и зажать винты. Все операции лучше производить при закрытой дверце, иначе можно переусердствовать и, устранив большой зазор с одной стороны, получить еще больший с противоположной. Со стороны блока управления регулировку зазора можно осуществить смещением механизма защелки вглубь корпуса. Для этого нужно ослабить винты, крепящие указанный механизм, сместить его в нужную сторону и вновь зажать винты. В принципе, защелка не имеет каких-либо пазов, позволяющих двигать ее в произвольном направлении, но, поскольку величина требуемого смещения не превышает нескольких десятых миллиметра, существующий люфт между винтами и отверстиями под них позволяет это сделать. Здесь также важно не перестараться и следить за тем, чтобы после всех манипуляций дверца хорошо закрывалась и оба запора включали блокировочные микропереключатели.

В некоторых печах российского производства увеличение зазора бывает связано с перекосом дверцы. При этом бывает, что в одном или двух углах зазор выше допустимого, а в остальных нормальный. Любая регулировка дверцы приводит только к тому, что ситуация зеркально меняется. Такой перекос иногда удается устранить. Для этого нужно отжать винты, крепящие перфорированное металлическое окно, слегка выгнуть дверцу в противоположном перекосу направлении и, не отпуская дверцы, зажать винты.

Наибольшая часть неисправностей дверцы связана с работой запоров, механизма фиксации и механизма открывания дверцы. Как правило, это чисто механические поломки и ремонт сводится к изготовлению и замене сломанной детали.

Иногда между дверцей и стенками камеры возникает искрение. Причина этого кроется в повреждении эмали на внутренней поверхности дверцы. Устранить это довольно просто, необходимо лишь закрасить поврежденный участок тонким слоем лака или эмали.

## 2.2. Магнетрон

Внешний вид магнетрона представлен на рис. 2.13. Излучение микроволновой энергии осуществляется от антенны 1, представляющей собой штенгель, на который плотно посажен металлический колпачок (штенгель — заваренная трубка, через которую в процессе производства магнетрона откачивался воздух). Антенна изолирована от корпуса 6, по переменному току, керамическим цилиндром 2. Внешний кожух магнетрона 3 совместно с фланцем 4 составляют магнитопровод, формирующий необходимое распределение магнитного поля, источником которого служат кольцевые магниты 5. Фланец используется также для крепления магнетрона к микроволновой печи. Радиатор 7 служит для более интенсивного охлаждения магнетрона во время работы. Коробка фильтра 8 содержит внутри себя индуктивные выводы, которые совместно с проходными конденсаторами 9 образуют высокочастотный фильтр, снижающий проникновение СВЧ-излучения по выводам питания 10.

Надежность контакта между магнетроном и корпусом микроволновой печи обеспечивается кольцом из металлической сетки.

В таблице 2.1 представлены параметры некоторых типичных магнетронов для микроволновых печей.

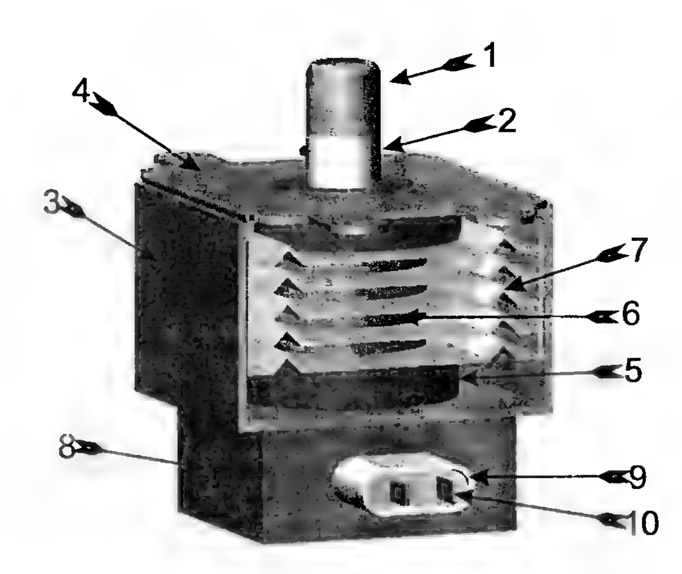



**Рис. 2.13. Магнетрон**

Скорость приготовления пищи в микроволновой печи напрямую зависит от мощности, которую способен генерировать магнетрон. В настоящее время большинство печей имеют магнетроны с номинальной мощностью 700 — 850 Вт, что позволяет, например, довести двухсотграммовый стакан воды до кипения в течение 2 — 3 минут. Таким образом, можно простыми средствами оценить мощность микроволновой печи. Для более точных измерений можно воспользоваться формулой:

$$P = \frac{C_p \cdot m \cdot \Delta T}{t}$$

где $C_P$ — удельная теплоемкость нагреваемого продукта (для воды $C_P$=4180 джоуль/градус), m — масса продукта (кг), $\Delta T$ — разность температур, t — время нагрева (с).

При стандартных измерениях объем воды должен составлять 1000±5 мл, время нагрева 60±1 с, а начальная температура не должна превышать 20°С. В этом случае исходная формула принимает более простой вид:

$$P = 70 \cdot \Delta T$$

Воду желательно налить в тонкостенный сосуд из боросиликатного стекла. Перед измерением температуры воды после нагрева воду в сосуде необходимо тщательно перемешать.

Рассмотрим пример: предположим, мы поместили литровую банку воды, с начальной температурой 10°С, в микроволновую печь и включили нагрев на одну минуту. После отключения печи температура воды оказалась 22°С. Отсюда мощность, поглощенная нагрузкой, составит:

P=70•(22-10)=840 Вт.

Неисправности магнетронов условно можно разбить на две группы: подлежащие восстановлению и прочие. Вначале кратко остановимся на безнадежных случаях. К ним можно отнести: обрыв или перегорание накала, нарушение вакуума, полное отсутствие генерации при наличии необходимых напряжений и исправном накале, короткое замыкание между анодом и катодом.

Теперь более подробно остановимся на случаях, когда положение можно спасти. Наиболее часто встречающаяся ситуация из этого перечня — это пробой проходных конденсаторов. Наличие такого пробоя легко обнаружить тестером, проверив сопротивление между выводами магнетрона и корпусом, при отключенной внешней цепи. Если оно отлично от бесконечности, нужно снять крышку с коробки фильтра и откусить провода, соединяющие конденсаторы с катушками фильтра. После этого повторить измерения. Если после этой операции показания прибора не изменятся, значит, конденсатор пробит. В этом случае вам повезло и вы отделаетесь малой кровью. Если же

Таблица 2.1

| N п/п | Наименование | Рабочее напряжение анода, кВ | Напряжение накала, В | Выходная мощность, Вт |
|---|---|---|---|---|
| Магнетроны зарубежных фирм | | | | |
| 1 | 2M11J | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 2 | 2M209 | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 3 | 2M213 | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 4 | 2M216 | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 5 | 2M218 | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 6 | 2M231 | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 7 | QBP65BH(FN) | 3.8 | 3.15 | 500 — 600 |
| 8 | WB27X274 | 3.8 | 3.15 | 650 |
| 9 | 2M104A | 4,0 | 3.15 | 750 |
| 10 | 2M107 | 4,0 | 3.15 | 750 |
| 11 | 2M108 | 4,0 | 3.15 | 750 |
| 12 | 2M128 | 4,0 | 3.15 | 750 |
| 13 | 2M157 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 14 | 2M167 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 15 | 2M172 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 16 | 2M204 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 17 | 2M214 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 800 |
| 18 | 2M224 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 19 | 2M226 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 20 | 2M240E | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 21 | OM75 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 22 | QBP75BH(FN) | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| 23 | WB27X51 | 4.0 | 3.15 — 3.3 | 700 — 850 |
| Магнетроны российского производства | | | | |
| 24 | Блесна-2 | 4.0 | 6.3 | 600 — 700 |
| 25 | M105-1 | 4.0 | 3.15 | 600 — 700 |
| 26 | M136 | 4.0 | 3.15 | 600 — 700 |
| 27 | M151 | 4.0 | 6.3 | 600 — 700 |
| 28 | M152 | 4.0 | 3.15 | 700 — 850 |
| 29 | M153-4 | 4.0 | 3.15 | 700 — 850 |
| 30 | M156 | 4.0 | 3.15 | 700 — 850 |

отключенные конденсаторы окажутся в порядке, то, прежде чем менять магнетрон, визуально убедитесь, что замыкание происходит внутри магнетрона, а не на его поверхности.

Излучение сквозь выводы питания для разных магнетронов, даже одного типа, различно. Если излучение невелико, допустимо включать магнетрон напрямую, без проходных конденсаторов. Однако с уверенностью сказать о возможности работы без проходных конденсаторов можно только при наличии приборов, измеряющих уровень СВЧ-излучения. Поэтому пробитые конденсаторы желательно заменить.

Причиной пробоев конденсатора служат кратковременные броски напряжения в моменты включения и выключения источника питания, которые могут превышать рабочее напряжение конденсатора. Несколько слов о происхождении таких выбросов: магнитное поле в сердечнике трансформатора, а соответственно и ток во вторичной обмотке определяются не величиной тока в первичной обмотке, а скоростью его изменения. При переменном токе эти понятия связаны, поскольку чем больше ток, тем с большей скоростью он меняется в течение периода. Однако постоянный ток, проходящий по первичной обмотке, какой бы большой он ни был, не вызовет никакой реакции во вторичной обмотке. И, наоборот, увеличение частоты входного напряжения, т.е. увеличение скорости изменения тока в первичной обмотке приводит к росту магнитного потока через вторичную обмотку, со всеми вытекающими последствиями. Этот факт используется в импульсных блоках питания, в которых увеличение частоты позволяет при той же выходной мощности значительно снизить размеры силового трансформатора. При включении и выключении трансформатора происходит резкое изменение тока через первичную обмотку и, следовательно, столь же резкое, кратковременное возрастание тока во вторичной обмотке. В соответствии с законом Ома: U=I•R, напряжение на нагрузке также изменится скачком, пропорционально току и сопротивлению нагрузки Если включение трансформатора происходит в отрицательный полупериод, когда диод заперт, а ток анода еще не появился, сопротивление нагрузки близко к бесконечности, поэтому скачок напряжения на выходе трансформатора может быть очень существенным.

Иногда, вследствие долгой работы или из-за включения магнетрона на пустую камеру, заметно снижается эмиссия катода. В результате мощность микроволновой печи уменьшается в два и более раз. Восстановить былую мощность можно, добавив напряжение на накал. Для этого обычно достаточно добавить полвитка на накальной обмотке трансформатора. К сожалению, не каждый трансформатор позволяет проделать такую манипуляцию.

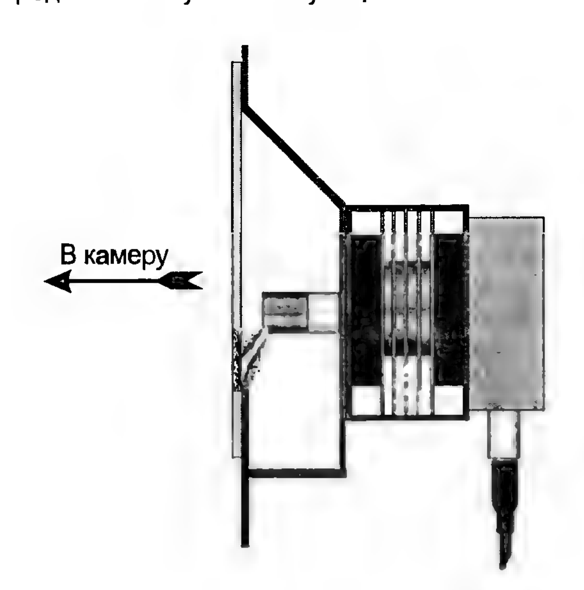



**Рис. 2.14. Возникновение СВЧ-разряда между антенной магнетрона и стенками камеры**

В некоторых марках микроволновых печей возможно возникновение СВЧ-разряда между антенной магнетрона и корпусом. Это происходит там, где практически отсутствует волновод между магнетроном и камерой и антенна расположена в непосредственной близости от диэлектрического окна. Разряд происходит после пробоя этого окна, как показано на рис. 2.14.

Если вовремя не заменить пробитое диэлектрическое окно, колпачок антенны может прогореть насквозь, и тогда разряд будет продолжаться автономно и не исчезнет, даже если вы устраните первопричину. Исправить положение можно, заменив колпачок. Его можно изготовить на токарном станке или снять со сгоревшего магнетрона аналогичной конструкции. Размеры нового

колпачка должны строго соответствовать старым, а его посадка на магнетрон должна быть плотной.

## 2.3. Высоковольтный блок питания

Блок питания магнетрона должен обеспечивать подачу постоянного анодного напряжения на магнетрон Ua = 4.0 кВ и переменное напряжение накала 3.15 В. При этом величина анодного тока составляет примерно 300 мА, а тока накапа 10 А. Указанные величины могут незначительно изменяться в ту ипи иную сторону в зависимости от типа магнетрона и требуемой мощности. Конструктивно блок питания состоит из трансформатора, диода и конденсатора и собран по схеме удвоения напряжения (рис. 2.15).

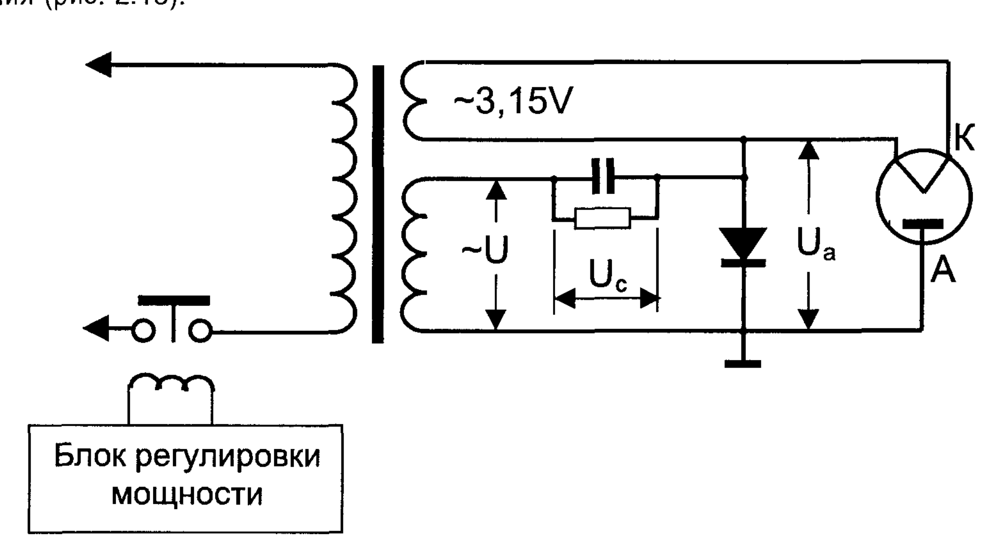



**Рис. 2.15. Принципиальная электрическая схема высоковольтного блока питания**

Рассмотрим работу схемы бопее подробно. Один из выводов высоковольтной обмотки трансформатора соединен с его корпусом, который обычно заземляется. Будем считать, что потенциал на этом выводе постоянен и равен нулю. Тогда на втором выводе напряжение в течение периода будет изменяться от +U до -U. В моменты времени, когда напряжение на выводе положитепьно, диод находится в открытом состоянии, напряжение на магнетроне равно нупю, а конденсатор будет заряжаться до амплитудного значения переменного напряжения. Когда напряжение поменяет свой знак, диод окажется в запертом состоянии, а на магнетрон попадет удвоенное напряжение, образованное суммой напряжений на трансформаторе и на зарядившемся конденсаторе. Поскольку в отрицательный полупериод напряжение на трансформаторе возрастает по синусоиде, от нуля до амплитудного значения, магнетрон начнет генерировать мощность не сразу, а спустя некоторое время, поспе того как суммарное напряжение конденсатора и трансформатора достигнет некоторого значения (примерно 3.6 кВ). В этот момент начнется генерация мощности, быстро нарастающей от нуля до максимума (при 4.0 кВ). Работа магнетрона будет сопровождаться постепенным разрядом конденсатора. В какой-то момент суммарное напряжение начнет снижаться, выходная мощность пойдет вниз, пока генерация полностью не прекратится. В спедующий полупериод опять начнется зарядка конденсатора и т.д. Графически этот процесс изображен на рис. 2.16.

Как наглядно видно из рисунка, магнетрон в микроволновой печи работает только в отрицательный попупериод, отдыхая в положительный. Фактически он работает даже нескопько меньше чем полпериода, поскольку он включается топько при достижении напряжением определенной вепичины и выключается раньше, чем напряжение станет равным нупю. Основным достоинством схемы удвоения является то, что снижается высокое напряжение на выходе трансформатора. Соответственно, уменьшается копичество витков во вторичной обмотке, что позволяет снизить его вес, габариты и стоимость.

Накальная обмотка одним из выводов соединена с высоким анодным напряжением, поэтому на выводы магнетрона одновременно подается переменное напряжение накапа 3.15 В и постоянное анодное напряжение 4.0 кВ. Дпя магнетронов с катодом прямого накапа не имеет значения, какой из накальных выводов соединен с анодным напряжением. При использовании магнетронов с косвенным накалом анодное напряжение необходимо подавать на вывод обозначаемый “FA”. В

противном случае через накал будет протекать анодный ток, приводя к его дополнительному разогреву. Однако, к каким-либо катастрофическим последствиям это не приводит. Кроме того, использование в микроволновых печах магнетронов с косвенным накалом большая редкость. Поэтому без больших натяжек выводы магнетрона можно считать равноценными. Необходимо оговориться, несмотря на то, что мы используем термин “анодное напряжение”, в действительности анод соединен с корпусом магнетрона и его потенциал всегда равен нулю, а отрицательное рабочее напряжение подается на катод. Для нормальной работы магнетрона важно, чтобы анод имел положительный потенциал +4.0 кВ по отношению к катоду, а какой из электродов заземлен, значения не имеет. Поскольку корпус магнетрона непосредственно соединен с анодом, то вполне естественно, что именно он имеет нулевой потенциал.

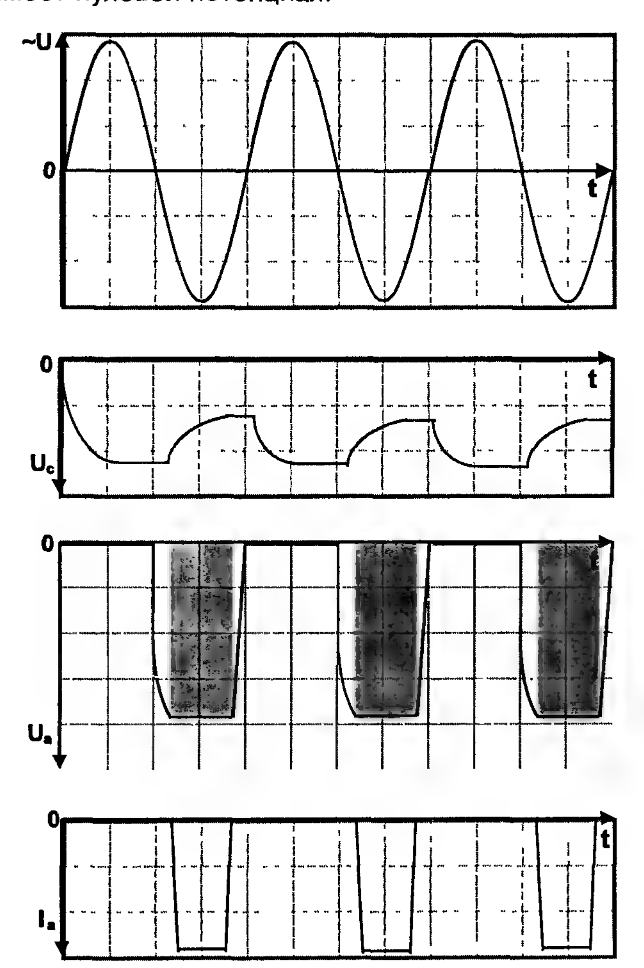



**Рис. 2.16. Форма токов и напряжений на основных элементах блока питания**

В микроволновых печах управление мощностью осуществляется ступенчато, периодическим отключением блока питания, т.е. регулируется средняя мощность за определенный цикл. (Подробнее об этом в разделе “Блок управления”.)

Рассмотренная схема наиболее часто используется в микроволновых печах, несмотря на присущие ей некоторые недостатки. Главный из них состоит в том, что анодное напряжение подается на магнетрон одновременно с накалом. При работе на средних и малых уровнях мощности, когда магнетрон периодически выключается, нить накала подвергается многократному нагреву и охлаждению, что снижает ее срок службы. Кроме того, в момент включения анодное напряжение подается на холодный катод, поскольку он не успевает разогреться, что также негативно влияет на магнетрон. Рассмотрим вкратце несколько схем, которые позволяют обойти указанные недостатки. Самое простое решение — это установить независимый накальный трансформатор (рис. 2.17).

Накальный трансформатор включается за несколько секунд до включения анодного напряжения и постоянно работает в течение всего времени, устанавливаемого таймером, независимо от выбранного уровня мощности. В некоторых моделях печей (например, “Электроника СП23 ЗИЛ”) накальный трансформатор включается и выключается одновременно с самой печью. Основной недостаток таких конструкций — это увеличение размеров, веса и стоимости микроволновой печи.

От этого избавлена схема на рис. 2.18.

Анодное напряжение от блока питания подается на магнетрон через специальный высоковольтный переключатель. В этом случае при регулировке мощности отключается не весь блок питания, а только анодная цепь, что позволяет при одном трансформаторе получить тот же результат, что и в предыдущем случае.

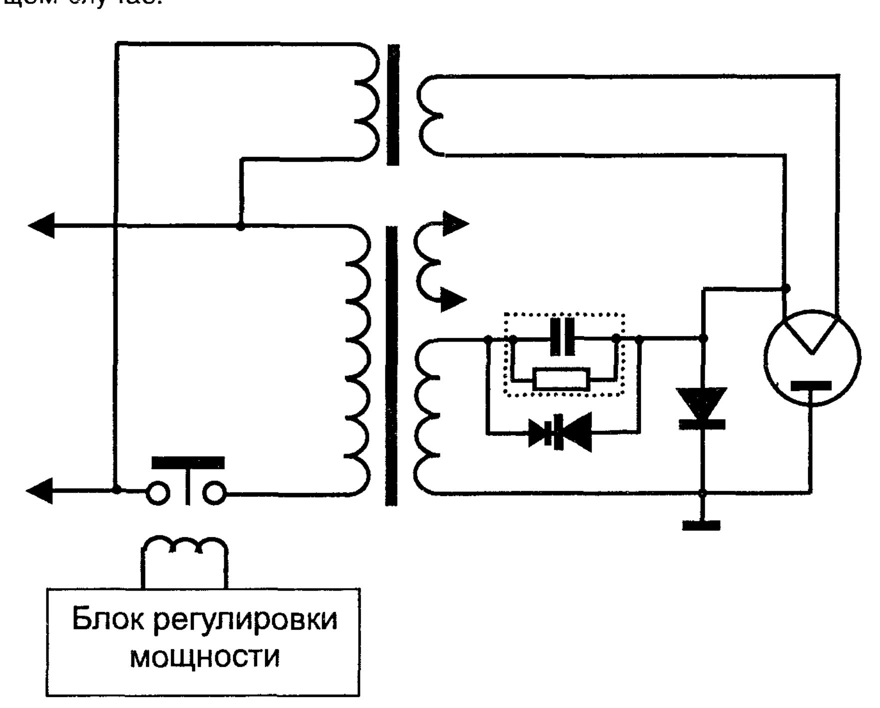



**Рис. 2.17. Принципиальная схема высоковольтного блока питания с независимым накальным трансформатором**

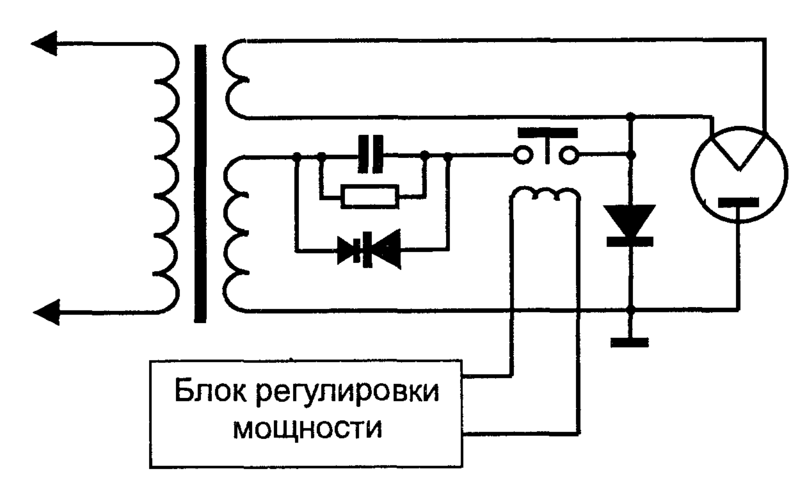



**Рис. 2.18. Принципиальная схема блока питания с использованием высоковольтного реле в анодной цепи**

Как было показано в предыдущей главе, изменение анодного напряжения даже в небольших пределах может существенно повлиять на работу магнетрона. Диапазон изменения анодного напряжения, при котором мощность магнетрона изменяется от нуля до оптимального значения, составляет около 500 В. Поэтому магнетрон с номинальным рабочим напряжением 4.0 кВ при реальном напряжении 3.5 кВ работать не будет. Фактически это означает, что, если не принять каких-либо специальных мер, снижение сетевого напряжения на 10% приведет к полной потере мощности микроволновой печи, а увеличение напряжения на те же 10% заставит ее работать в непосильном режиме, и тогда от безвременной кончины магнетрон может спасти только вовремя сгоревший предохранитель. Положение усугубляется тем, что магнетроны, даже одного типа, обладают некоторым разбросом параметров. Рабочее напряжение магнетрона определяется напря-

женностью магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами. Технологически при массовом производстве довольно сложно изготовить магниты с одинаковой индукцией. Поэтому фактическое рабочее напряжение магнетрона может на несколько процентов отличаться от номинального. На заре телевизионной техники, когда с телевизорами возникали похожие проблемы, подключение к сети велось через специальные ферромагнитные стабилизаторы. В микроволновой печи ситуация проще и роль такого стабилизатора при определенных условиях может выполнить имеющийся трансформатор.

Рассмотрим вкратце принцип действия ферромагнитного стабилизатора. Магнитопровод трансформатора обладает свойством магнитного насыщения. Магнитное насыщение — явление, при котором в ферромагнитных материалах, при увеличении напряженности намагничивающего поля Н, начиная с некоторого его значения Hm, наблюдается резкое снижение роста магнитной индукции (рис. 2.19).

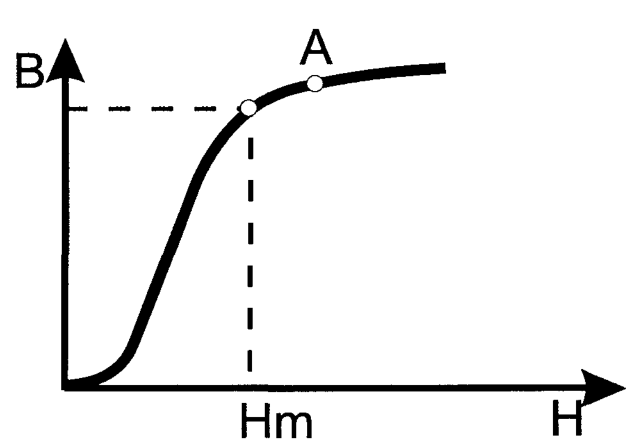



**Рис. 2.19. Зависимость величины магнитной индукции В от напряженности намагничивающего поля Н в трансформаторе микроволновой печи**

Если подобрать железо трансформатора таким образом, чтобы работать в зоне насыщения, изменение напряжения на первичной обмотке практически не будет влиять на величину тока в нагрузке. Нет смысла выбирать рабочую точку слишком далеко от точки насыщения, поскольку в этом случае снизится к.п.д. трансформатора. Подчеркнем, что рассматриваемый стабилизатор является стабилизатором тока. Напряжение на разных магнетронах может быть разным, но всегда таким, какое требуется для получения заданной мощности. Если же магнетрон отключен, то напряжение холостого хода может заметно превышать 4 кВ. Понимание физических процессов, происходящих в трансформаторе микроволновой печи, позволяет установить ограничения при его замене. Главное — это равенство анодного тока до и после замены. Эти замечания следует учитывать также и при замене магнетрона.

Если в результате замены магнетрон и трансформатор перестанут составлять гармоничную пару, то возможны два случая:

1. Магнетрон рассчитан на большую мощность, чем позволяет обеспечить трансформатор. В результате последний будет работать в режиме сильного насыщения. Как следствие магнетрон не будет выдавать номинальной мощности, усилится гул трансформатора и снизится его к.п.д.
2. Магнетрон рассчитан на меньшую мощность, чем трансформатор. Из-за возрастания анодного тока, мощность печи увеличится, однако магнетрон будет сильно перегреваться, что приведет к снижению его долговечности. При включении печи на длительное время (более 5 минут) возможно, также, отключение термореле.

На блок питания приходится примерно третья часть поломок в микроволновой печи. Это объясняется тем, что все элементы, составляющие блок питания, работают на предельных режимах и, как правило, не имеют достаточного запаса прочности. Обычно в руководствах по эксплуатации микроволновых печей указывается, что на максимальную мощность печь можно включать не более чем на 20 — 30 минут, после чего ей необходимо дать отдохнуть такое же время. Конечно, технически не представляет труда сделать печь более надежной, однако это неизбежно приведет к росту ее габаритов, веса и стоимости. Поэтому производители микроволновых печей выбирают компромиссный вариант, при котором печь при правильной эксплуатации работает относительно надежно, но может быстро выйти из строя при нарушении этих правил.

Имеется четыре основные причины, приводящие к поломке блока питания микроволновой печи:

1. Длительная работа печи на максимальной мощности.
2. Включение микроволновой печи при отсутствии продукта в камере либо длительная работа при загрузке меньше чем минимапьно допустимая. (Стандартная минимальная загрузка равна 200 мл воды.)
3. Работа при повышенном напряжении электрической сети. В условиях России, особенно в сельской местности, такое, к сожалению, скорее норма, чем исключение. Люди, берущие микроволновую печь на дачу, чтобы облегчить себе жизнь, очень часто ее усложняют.
4. Детали имеют заводской брак или механические повреждения.

Установив причины, попробуем разобраться со следствиями. Наиболее неприятная вещь — это выход из строя трансформатора. Обычно сгорает вторичная обмотка в результате межвиткового замыкания. При изготовлении высоковольтных обмоток считается хорошим тоном прокладывать изоляционную бумагу между слоями витков. В этом случае витки на различных слоях не соприкасаются и вероятность межвиткового пробоя значительно снижается. Однако тщательное и скрупулезное соблюдение инструкций — в некоторых случаях прямой путь в тупик. В трансформаторах для микроволновых печей этого, как правило, не делается, поскольку производители печей считают, что лучше потратиться на дополнительное сервисное обслуживание, чем выпускать на рынок монстра, которого без автопогрузчика не сдвинуть с места. Поэтому упор делается на качество лаковой изоляции провода и на ровную укладку слоев. В этом случае напряжение между соседними слоями не превышает нескольких десятков вольт. При неправильной укладке провод может проваливаться через несколько слоев, и тогда напряжение между ним и слоем, до которого он добрался, может достигать сотен вольт, что значительно повышает вероятность пробоя. В результате пробоя образуется несколько короткозамкнутых витков, через которые протекает большой ток. Если количество короткозамкнутых витков невелико, трансформатор некоторое время может работать, как исправный, но инфекция уже занесена и от нее, как от СПИДа, лекарства не существует. Процесс будет лавинообразно развиваться дальше. Короткозамкнутые витки будут перегреваться, разрушать изоляцию соседних витков и т.д. Помимо плохой укладки провода возникновению пробоя может способствовать высокая температура. В этом случае в лаковой изопяции могут появиться микротрещины, замыкание и “далее со всеми остановками”.

Сгоревший трансформатор можно заменить. Новый трансформатор должен быть на ту же мощность, что и прежний. Естественно, это допжен быть трансформатор от микроволновой печи, а не от сварочного аппарата или чего-нибудь еще.

“При отсутствии наличия” трансформатор можно отремонтировать. Относительно легко это сделать в микроволновых печах российского производства. Во-первых, потому, что катушка вторичной обмотки в них размещена на каркасе, а во-вторых, потому, что железо трансформатора не заварено, как это делается в импортных печах. Тем не менее и в этом случае все может оказаться сложней, чем кажется на первый взгляд. Первая проблема возникает при попытке извлечь из трансформатора катушку. Обычно для уменьшения гула детали магнитопровода склеиваются и после сборки заливаются лаком. Поэтому, сняв металлическую стяжку, не стоит рассчитывать, что остальные детали развалятся, как карточный домик. Без мощных тисков и хорошего молотка вам не обойтись. Рекомендуется перед разборкой пометить детали магнитопровода, с тем чтобы при сборке установить их в том же порядке. Но предположим, что с этим вы справились. Теперь необходимо размотать катушку, попутно сосчитав количество витков. Как правило, вторичная обмотка содержит около 2300 витков медного провода с двойной лаковой изоляцией диаметром 0.41 — 0.45 мм. Так как трансформатор работает в режиме стабилизации тока, небольшие ошибки при определении количества витков слабо влияют на его работу, поэтому будет достаточно, если вы точно установите количество слоев и количество витков в слое.

При намотке катушки необходимо периодически с помощью кисточки покрывать ее лаком, с тем чтобы все витки после высыхания лака были жестко зафиксированы. Без этого вы сами себе подложите мину, которая взорвется в последний момент, а именно во время пробного включения. Печь будет работать, но звук будет такой, как будто на вашей кухне взлетает бомбардировщик с полной загрузкой. Борьба с гулом — это одно из наиболее сложных дел при ремонте мощных трансформаторов. Гул трансформатора возможен и в том случае, когда обмотка неплотно посажена на сердечник магнитопровода. При сборке трансформатора после ремонта имеет смысл вбить клинышек между катушкой и сердечником.

В импортных трансформаторах, для снижения гула, детали магнитопровода сварены между собой. Сварка осуществляется мягким сплавом по внешней стороне, поэтому разобрать трансфор-

матор не сложно. Для этого необходимо в месте соединения деталей сделать ножовкой два пропила глубиной 1 — 2 мм, а затем, используя тиски и молоток, разъединить детали магнитопровода. При сварке трансформатора после замены обмотки его также необходимо зажать тисках, чтобы не было зазора между соединяемыми частями. Изготовление обмотки для импортного трансформатора — работа очень непростая, но не безнадежная. Конечно, при наличии намоточного станка. Предварительно необходимо изготовить разборный каркас по размеру катушки, проложить внутрь слой бумаги или скотч-ленту и плотно намотать катушку, периодически покрывая ее лаком. После высыхания лака каркас разбирается, и катушка надевается на сердечник магнитопровода. Как известно, опыт растет прямо пропорционально выведенному из строя оборудованию. Поэтому, убедившись, что катушка не входит в сердечник, вносите необходимые коррективы и начинаете все заново. Если у вас получится с первой попытки, значит, вы родились в рубашке и вам нужно не печи ремонтировать, а в рулетку играть.

Чтобы уменьшить число итераций, лучше изначально снизить количество витков на 1 — 2 слоя. По причинам, указанным выше, это допустимо, хотя и нежелательно. Если после долгих мучений собранная печь не будет давать необходимой мощности, исправить положение можно, добавив полвитка на накальной обмотке. В этом случае небольшой дефицит анодного напряжения, образованный уменьшением количества витков, мы компенсируем дополнительной эмиссией катода. В результате анодный ток, а соответственно и полезная мощность возрастут до приемлемого значения. Данная мера может помочь, когда число витков снижено на 5 — 10%, однако нужно помнить, что при этом сокращается срок службы магнетрона. Конечно, если есть возможность не пользоваться приведенными рекомендациями, лучше так и сделать. Гораздо правильней поставить новый трансформатор, а не возиться с “трупом” старого. Но иногда вопрос стоит ребром: либо выбросить печь, либо попытаться починить. Для тех, кто выбрал второй вариант, автор попытался показать, как это можно сделать и к чему это может привести.

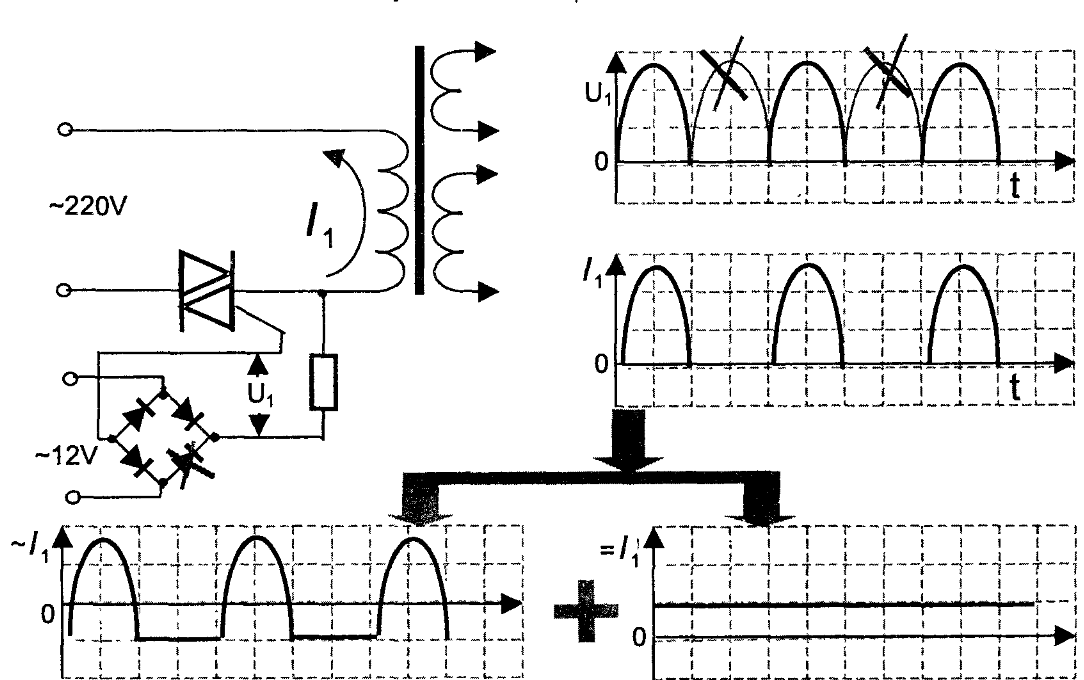



**Рис. 2.20. Случай, приводящий к перегреву первичной обмотки трансформатора**

Помимо выхода из строя вторичной обмотки в трансформаторе могут быть и некоторые другие неисправности. Иногда начинает перегреваться и дымить первичная обмотка. Обычно в этом случае причина кроется не в трансформаторе, а в устройстве, управляющем подачей напряжения на первичную обмотку. Трансформатор в этом случае выступает в роли козла отпущения, отдуваясь за неправильную работу управляющих структур. На рис. 2.20 изображена упрощенная схема, показывающая, каким образом это может происходить. Включение трансформатора осуществляется с помощью симистора, на который от независимого источника питания подается управляющее напряжение.

Если одно из плеч диодного моста не работает, то симистор отпирается только в момент прохождения либо четных, либо нечетных полуволн. В результате через трансформатор, наряду с переменным, начинает протекать постоянный ток. Поскольку сопротивление трансформатора по

постоянному току близко к нулю, то величина этого тока практически ничем не ограничена. Поэтому в рассматриваемом варианте первым делом перегорят сетевые предохранители. Но возможен вариант, когда работают оба плеча диодного моста, но не симметрично. Более подробно это рассматривается в разделе о симисторах. В этом случае через первичную обмотку будет протекать два тока: переменный, совершающий полезную работу, и постоянный, мешающий этой работе и расходующий свою энергию исключительно на нагрев первичной обмотки.

При работе микроволновой печи большое значение имеет качество контактов. Особенно большое значение имеют контакты в накальной цепи. Попробуем разобраться, к чему может привести даже небольшое ухудшение контакта между накальной обмоткой трансформатора и выводами магнетрона. Ток накала магнетрона составляет величину около 13 А. Его уменьшение примерно на 20% может привести к значительной потере эмиссии. В то же время сопротивление нити накала равно примерно 0.3 Ом. Таким образом, увеличение сопротивления на 20%, или на 0.06 Ом, приводит к уменьшению тока на те же 20% и, как следствие, к потере эмиссии. Сопротивление в 0.06 Ом — очень маленькая величина, которую не измерить обычным тестером, поэтому, если контакт внешне выглядит нормальным и при измерении тестером не показывает никакого сопротивления, это еще не говорит о его надежности. Обычно проводники, соединяющие детали в микроволновых печах, не паяются, а снабжаются специальными разъемами. Типичная неисправность в микроволновых печах — ухудшение контактов в разъемах. Лучший способ убедиться в надежности разъема — попробовать его разъединить. Если это сделать трудно, значит, разъем в порядке, если легко, то его можно немного обжать пассатижами.

Кроме цепи накала, большое значение имеет и качество контактов на первичной обмотке силового трансформатора. Можно сказать, что важность того или иного контакта в любом электрическом приборе прямо пропорциональна величине тока, протекающего через него. Ток в первичной обмотке равен примерно 6 А, этого достаточно, чтобы к соответствующим контактам относиться уважительно.

Еще одной неисправностью, связанной с трансформатором, является пробой накальной обмотки. Дело в том, что, хотя напряжение на ее выводах всего чуть более 3 В, сама она находится под потенциалом — 4 кВ по отношению к корпусу. А напряжение между вторичной обмоткой и накальной, в зависимости от фазы сетевого напряжения, колеблется от 2 кВ до 6 кВ. При нарушении изоляции обмотки возможен пробой как на корпус, так и на вторичную обмотку. Способствовать этому может наличие влаги и грязи в месте вероятного пробоя.

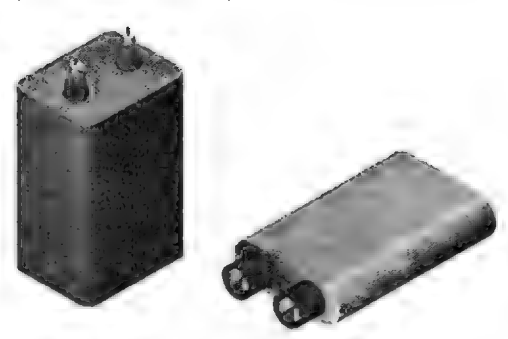


**Рис. 2.21. Высоковольтные конденсаторы**

Иногда в случае пробоя на корпус можно произвести ремонт, не прибегая к разборке трансформатора. Это возможно в двух случаях: во-первых, когда последствия пробоя не велики и есть возможность изолировать место пробоя; во-вторых, когда имеется возможность заменить накальную обмотку, не разбирая трансформатор. Относительно легко это делается, если она намотана поверх вторичной или первичной обмоток. Если вам повезло и поврежденная обмотка снята, то, устанавливая новую, необходимо помнить о том, что толщина устанавливаемого провода должна быть примерно равна толщине снятого. Если это не удается сделать и провод требуемой толщины не входит в зазор между корпусом и катушкой, можно попробовать взять провод немного потоньше, но при этом, скорее всего, придется добавить количество витков. Критерий правильного выбора между толщиной провода и количеством витков — наличие напряжения 3.15 В на выводах при подключенном магнетроне. Подчеркнем, что без нагрузки величина напряжения на накальной обмотке значения не имеет. Анодное напряжение во время измерений можно и даже нужно отключить, это можно сделать, отсоединив разъем от выхода вторичной обмотки.

Внешний вид высоковольтных конденсаторов для микроволновых печей показан на рис. 2.21, а их параметры приведены в таблице 2.2.

В микроволновых печах российского производства, как правило, используются конденсаторы емкостью 1 мкФ и с максимальным напряжением 5000 В. Реально, напряжение на конденсаторе в российских микроволновых печах не превышает 2.1 кВ, поэтому при необходимости он может быть заменен на соответствующий импортный.

**Таблица 2.2**

| № п\п | Наименование | Электрическая емкость | Максимальное рабочее напряжение |
|---|---|---|---|
| 1 | MWC2180 | 0.8 мкФ | 2100 В |
| 2 | MWC2185 | 0.85 мкФ | 2100 В |
| 3 | MWC2187 | 0.87 мкФ | 2100 В |
| 4 | MWC2191 | 0.91 мкФ | 2100 В |
| 5 | MWC21100 | 1.0 мкФ | 2100 В |
| 6 | MWC21110 | 1.1 мкФ | 2100 В |
| 7 | MWC21120 | 1.2 мкФ | 2100 В |
| 8 | MWC25080 | 0.8 мкФ | 2500 В |
| 9 | MVC25085 | 0.85 мкФ | 2500 В |
| 10 | MWC25110 | 1.1 мкФ | 2500 В |

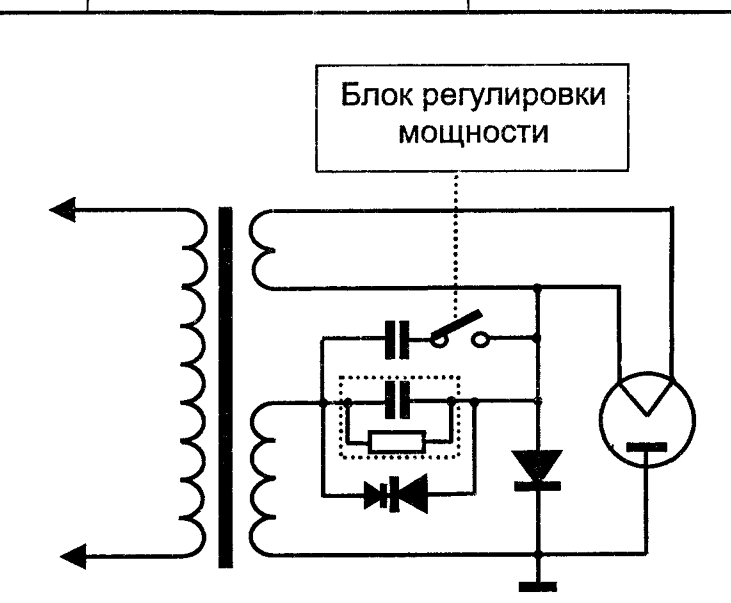



**Рис. 2.22. Принципиальная схема высоковольтного блока питания с управлением выходной мощностью за счет изменения емкости конденсаторов**

Номинал электрической емкости влияет на величину мощности, вырабатываемой магнетроном. При замене желательно использовать конденсатор той же емкости, хотя большого криминала не будет, если емкость будет немного отличаться.

Иногда изменение емкости конденсатора используется для регулировки выходной мощности (рис. 2.22).

Приведенная схема содержит два параллельно включенных конденсатора, один из которых может отключаться дополнительным переключателем. Обычно такой способ, применяемый в моделях с ограниченной мощностью, предусматривает только два режима выходной мощности: "высокая" и "низкая". Эта система не требует какой-либо дополнительной схемы управления, необходим только механический переключатель.

В целях безопасности для быстрого разряда конденсатора между его выводами подключается высокоомное сопротивление (1 — 10 МОм). В импортном варианте это сопротивление подключается в процессе изготовления конденсатора и расположено внутри его корпуса. Для полного разряда требуется приблизительно 30 секунд. Бывают случаи, когда это сопротивление перегорает. Тогда на конденсаторе длительное время может сохраняться большой электрический заряд. Поэтому рекомендуется, приступая к ремонту, даже если печь давно выключена из сети, разрядить конденсатор. Для этого достаточно замкнуть выводы магнетрона на корпус с помощью отрезка хорошо изолированного провода. В противном случае вы рискуете из-за ничтожной оплошности угодить на “электрический стул”.

Неисправности высоковольтного конденсатора связаны с пробоем между его обкладками и гораздо реже с пробоем на корпус. Для проверки его работоспособности достаточно “прозвонить” конденсатор тестером. Сопротивление между выводами должно быть равно примерно 1 — 10 МОм, а между корпусом и любым из выводов отсутствовать. При измерении сопротивления выводы конденсатора должны быть отключены от внешней электрической цепи. Теоретически возможна неисправность, вызванная внутренним обрывом одного из выводов. Обнаружить ее можно при наличии прибора, измеряющего электрическую емкость. При его отсутствии можно попробовать зарядить конденсатор с помощью низковольтного источника напряжения и после его отключения проследить за процессом разряда. У целого конденсатора напряжение будет плавно спадать, у неисправного оно будет отсутствовать.

Для предотвращения пробоев конденсатора между его выводами иногда включают фьюз-диод, который принимает удар на себя. Фьюз-диод, или, говоря по-русски, предохранительный диод, внешне напоминает обычный высоковольтный диод. Внутри он состоит из двух встречно включенных диодов с различными номиналами. Их параметры подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе печи не оказывать на нее никакого влияния. В то же время при закорачивании магнетрона или чрезмерном повышении напряжения на конденсаторе фьюз-диод пробивается, вызывая короткое замыкание вторичной обмотки и, как следствие, перегорание сетевого предохранителя. В первом случае это предохраняет трансформатор от перегрева, а во втором спасает конденсатор от пробоя. Но в наших условиях выигрыш от этого сомнительный. При коротком замыкании в магнетроне предохранитель обычно перегорает и без посторонней помощи, а что касается конденсатора, то, хотя стоимость фьюз-диода заметно меньше стоимости последнего, вероятность его выхода из строя выше, примерно в той же пропорции. В условиях отлаженного сервиса это может быть оправдано, тем не менее в некоторых современных микроволновых печах указанные приборы отсутствуют. С учетом того, что в России найти такие диоды крайне сложно, решение напрашивается само собой. Ремонт в таком варианте напоминает операцию при аппендиците: удаляем лишнее, и больной опять здоров.

И, наконец, последний элемент, составляющий блок питания, — высоковольтный диод (рис. 2.23).

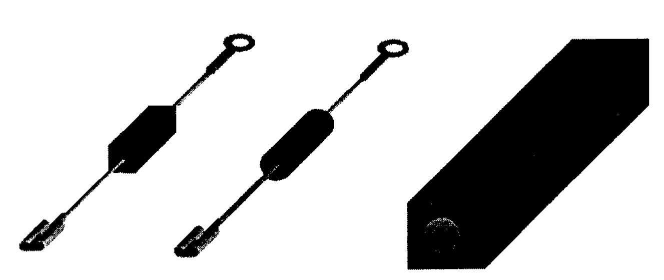


**Рис. 2.23. Высоковольтные диоды применяемые в микроволновых печах**

В таблице 2.3 представлены основные типы диодов, которые используются в микроволновых печах.

Высоковольтный диод представляет собой большое количество последовательно соединенных обычных выпрямительных диодов, выполненных по единой технологии в одном корпусе. Такая его конструкция вносит свою специфику при проверке диода на целостность. В отличие от обычного, высоковольтный диод при проверке тестером не показывает сопротивления ни в прямом, ни в обратном направлении. Объясняется это тем, что диод имеет нелинейную вольт-амперную характеристику и его сопротивление зависит от приложенного напряжения (рис. 2.24).

При измерении тестером мы прикладываем к электродам диода напряжение от гальванической батарейки, которое обычно не превышает 4.5 В. Для обычного диода этого вполне достаточно,

чтобы ощутить разницу между прямой и обратной ветвями характеристики. В высоковольтном диоде прикладываемое напряжение делится поровну между всеми составляющими его элементарными диодами. В итоге каждый из них оказывается под напряжением, в соответствующее число раз меньшим. При напряжении менее чем 0.5 В сопротивление в прямом направлении оказывается достаточно велико даже у одного диода, а при последовательном соединении всех элементарных диодов общее сопротивление возрастет пропорционально их количеству. Поэтому исправный высоковольтный диод может казаться неисправным, показывая бесконечное сопротивление в обоих направлениях, и наоборот — неисправный диод, показывающий небольшое сопротивление в прямом направлении и бесконечное в обратном, внешне можно принять за исправный.

Таблица 2.3

| N п/п | Тип прибора | Максимальное обратное напряжение | Максимальный прямой ток |
|---|---|---|---|
| 1 | HV 05-12 | 12000 В | 550 мА |
| 2 | HV 07-15 | 15000 В | 750 мА |
| 3 | КЦ201Е | 15000 В | 500 мА |
| 4 | КЦ202Е | 15000 В | 500 мА |

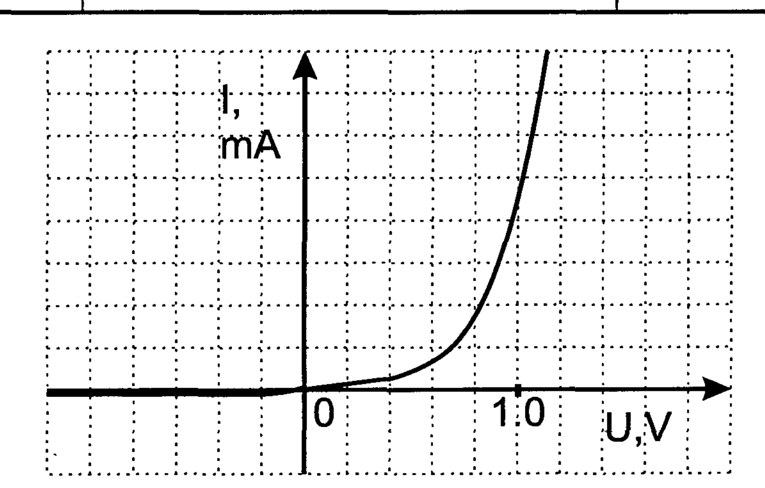



**Рис. 2.24. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода**

В некоторых печах российского производства высоковольтный трансформатор не имеет накальной обмотки либо она не используется, а напряжение накала подается с отдельного накального трансформатора. Обычно независимый накал используется в микроволновых печах с электронным управлением, поскольку в них уже имеется дополнительный трансформатор для питания блока управления. Недостаток такой конструкции в том, что при подключении к трансформатору накальной обмотки его размеры возрастают в несколько раз. Кроме того, возникает опасность пробоя между высоким напряжением на накальной обмотке и низковольтными цепями блока управления, что может привести к непоправимым результатам.

## 2.4. Блок управления

Блоки управления для микроволновых печей встречаются двух типов: электромеханические и электронные. Имеется две основные функции, которые должен выполнять блок управления: поддержание заданной мощности и выключение печи по истечении установленного времени работы. Независимо от типа исполнения, все печи одинаково успешно справляются с этими задачами. Поскольку электронный блок управления содержит внутри себя микроЭВМ с богатыми потенциальными возможностями, у разработчиков микроволновых печей всегда есть подспудное желание каким-то образом задействовать эти возможности. И здесь каждый изощряется, как может. Начиная от встроенных часов и заканчивая отрывками из музыкальных произведений, сигнализирующими об окончании работы. Все это можно рассматривать как некоторые излишества, не влияющие на исполнение основных функций.

Величина подаваемого в рабочую камеру уровня микроволновой мощности регулируется временем срабатывания исполнительного устройства, в качестве которого может использоваться реле, микропереключатель или симистор. Исполнительное устройство периодически включает и выключает источник питания магнетрона в соответствии с выбранной мощностью. В качестве примера на рис. 2.25 показаны два цикла работы микроволновой печи "Плутон", для различных режимов мощности. Полный цикл составляет 22 секунды. В зависимости от выбранной мощности, магнетрон включается только на определенное время, в пределах одного цикла, а каждый последующий цикл периодически повторяет последовательность этих действий.

| Процент выбранной мощности | Уровень мощности, ватт | Время включения магнетрона |
|---|---|---|
| 100 | 800 | 22 сек 22 сек |
| 70 | 560 | 16 сек 16 сек |
| 40 | 320 | 10 сек 10 сек |
| 20 | 160 | 6 сек 6 сек |

**Рис. 2.25. Продолжительность включения магнетрона при различных уровнях задаваемой мощности**



**Рис. 2.26. Внешний вид и внутренняя начинка типичного электромеханического таймера микроволновой печи**

Несмотря на то что многие микроволновые печи в качестве исполнительного устройства имеют симистор, позволяющий осуществлять плавную регулировку больших мощностей, питание на магнетрон всегда подается в виде импульсов. Их скважность меняется в зависимости от требуемой мощности. Очень редкие и не совсем удачные исключения лишь подчеркивают правило. Основная причина такого подхода к конструированию печей состоит в том, что он гораздо проще и надежнее. В то же время на процесс приготовления пищи способ регулировки мощности никак не влияет.

Электромеханический блок управления состоит из таймера и связанного с ним механизма ступенчатой регулировки мощности. Часто эти детали выполнены в едином корпусе. Обычно таймер включает в себя микродвигатель, редуктор, механический звонок и систему контактов и микропереключателей, обеспечивающих включение блока питания. Типичная конструкция таймера показана на рис. 2.26.

Поскольку таймер электромеханический, то его поломки могут быть связаны как с механическими, так и с электрическими узлами. В первом случае это, как правило, выход из строя редуктора. Типичная неисправность — поломка зубьев в пластмассовых шестернях. В этом случае двигатель таймера работает, но отсчет времени не производится, и поэтому автоматического отключения микроволновой печи по истечении заданного времени не происходит. В большинстве случаев такую неисправность можно устранить, воспользовавшись способом, показанным на рис. 2.10.

Поломки электрической части проявляются как отсутствие замыкания или размыкания внутренних контактов. Возможен также выход из строя микродвигателя, хотя на практике такое случается крайне редко. Обычно в таймере имеется две пары контактов. Первая, назовем ее условно основной, замыкает цепь, подающую питание на вентилятор магнетрона, на лампу для освещения камеры, а также на микродвигатели столика и таймера. В цепи питания магнетрона последовательно с основной парой контактов присутствует дополнительная, обеспечивающая периодическое включение и выключение блока питания магнетрона в соответствии с выбранным режимом мощности. Дополнительные контакты, как правило, представляют собой встроенный стандартный микропереключатель. Из-за большого тока, проходящего через обе пары контактов (около 6 А), они могут подгорать. Если процесс подгорания начался, то он будет нарастать лавинообразно, пока контакт окончательно не выйдет из строя. Чем сильнее подгорел контакт, тем больше его сопротивление и тем большая мощность, в виде тепла, будет на нем выделяться. Сломанный микропереключатель необходимо заменить, а неработающие основные контакты можно зачистить. Контакт должен быть пружинящим, поэтому иногда его ламели требуется немного подогнуть. Чтобы добраться до контактов, таймер необходимо разобрать. Делать это нужно с осторожностью, следя, чтобы при снятии крышки не потерять присутствующие там пружины и мелкие детали.

В некоторых микроволновых печах, например "MOULINEX", для того чтобы разобрать таймер, необходимо предварительно снять звонок. Обратите внимание на то, что винт, крепящий звонок, может иметь левую резьбу.

Структурная схема электронного блока управления показана на рис. 2.27.

Основным элементом блока управления микроволновой печи является микроконтроллер, в котором запрограммированы последовательность и значения выходных сигналов в зависимости от информации, поступающей на его входы. Главным источником входной информации служит клавиатура, на которой пользователь задает время и режимы приготовления пищи. Помимо этого, на вход микроконтроллера поступает сигнал о закрытии дверцы микроволновой печи и с различных датчиков, если таковые имеются. Информация о выбранном режиме работы и о времени, оставшемся до конца выполнения программы, отображается на индикаторе. В процессе работы микроконтроллер включает и выключает различные исполнительные устройства, к которым относятся реле, симисторы, пьезоэлектрические звонки и т.д. Для согласования по мощности исполнительные устройства, а иногда и устройства индикации подключаются через буферные усилители. Блок управления содержит также источник питания, состоящий из понижающего трансформатора, одного или нескольких выпрямителей и стабилизаторов.

Для ремонта блока управления его необходимо отсоединить от микроволновой печи, подать на него напряжение от независимого источника и поставить короткозамыкающую перемычку на блокирующий вход.

Рассмотрим более подробно основные узлы блока управления, присущие им неисправности и методы их устранения.

### *Клавиатура*

Подавляющее большинство микроволновых печей имеют псевдосенсорную пленочную клавиатуру. Принцип ее действия показан на рис. 2.28.

Клавиатура выполнена в виде трехслойной полимерной пленки, приклеенной на твердую поверхность. На верхний и нижний слои с внутренней стороны нанесены металлизированные или угольные контактные площадки, объединенные с помощью системы проводников в несколько шин. В месте расположения контактных площадок средний слой имеет вырезы, а на лицевой стороне

клавиатуры нанесены изображения кнопок. При нажатии на изображение кнопки контактные площадки замыкаются, подавая соответствующий сигнал на микроконтроллер. При отпускании кнопки клавиатура за счет эластичности материала восстанавливает исходную форму, и контакт размыкается. В качестве примера на рис. 2.29 показаны внутренняя структура и соединения проводников одной из наиболее часто встречающихся клавиатур, от блока управления "БУВИ-2".

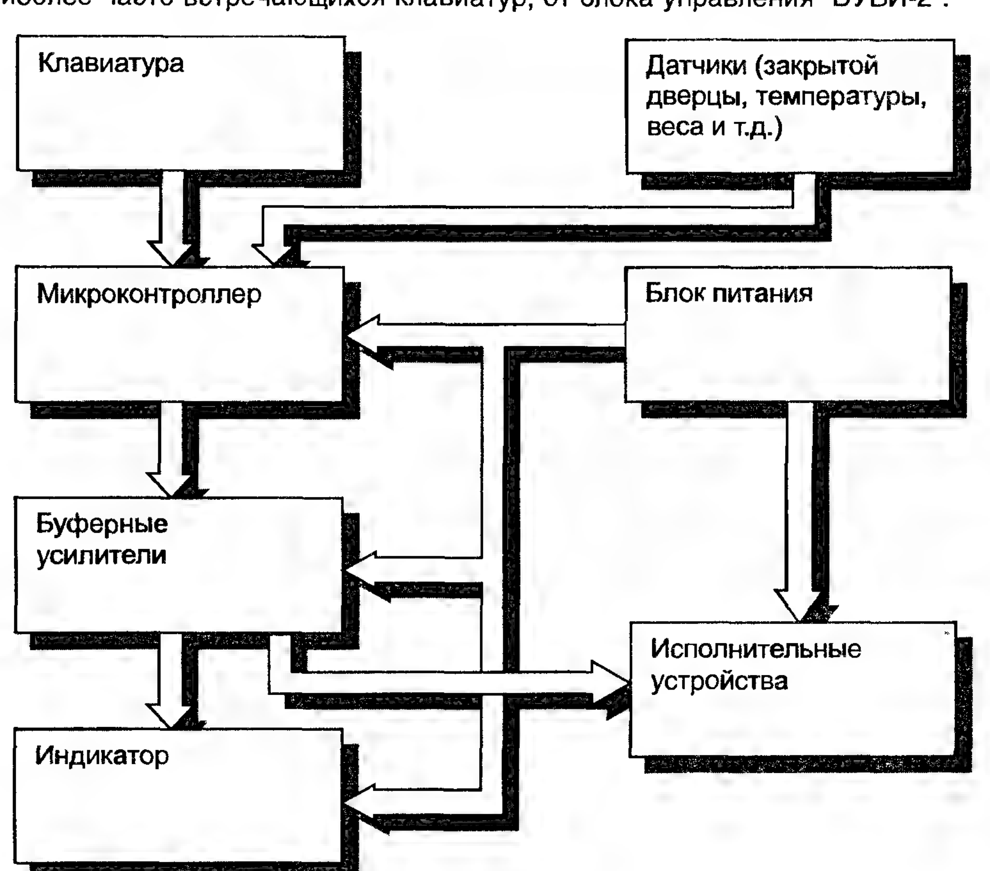



**Рис. 2.27. Структурная схема электронного блока управления микроволновой печи**

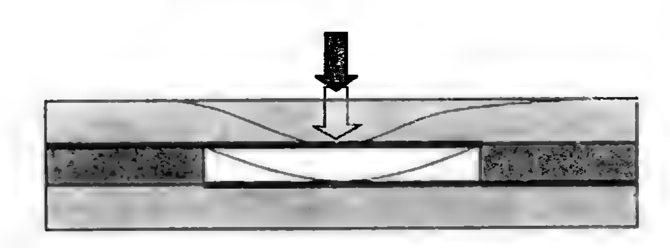


**Рис. 2.28. Поперечное сечение пленочной клавиатуры в области замыкаемого контакта**

Сомнения в исправности клавиатуры возникают в том случае, если эффект при нажатии на изображения кнопок либо вообще отсутствует, либо не соответствует ожидаемому. Разумеется, если ваши ожидания не выходят за рамки инструкции по эксплуатации.

Убедиться в том, что неисправности блока управления вызваны работой клавиатуры, можно, вынув клавиатуру из разъема и замкнув на короткое время отрезком провода те выводы блока управления, которые должны замыкаться кнопкой подозреваемой в саботаже. Если эффект соответствует предписанному, значит, ваши сомнения оправданны и клавиатуру нужно ремонтировать. Сложность заключается в том, что необходимо предварительно знать, какие выводы какой кнопкой замыкаются. Если требуемая информация в данной книге отсутствует, можно выбрать два пути дальнейших действий. Первый путь радикальный. Нужно отклеить клавиатуру от блока управления и по топологии, которая видна с обратной, прозрачной, стороны, составить схему коммутации. Второй путь — это так называемый метод "научного тыка". Он может быть использован, когда входные и выходные шины разделены между собой, как, например, на рис. 2.29. В этом случае схему ком-

мутации можно составить поочередным замыканием всех входных шин со всеми выходными, каждый раз анализируя полученный результат. Трудности здесь связаны с тем, что некоторые кнопки, например "ПУСК", можно включить, только если набрана предварительная информация. Поэтому составление схемы будет происходить в несколько этапов. Вначале отмечаются те соединения, которые можно установить сразу, а затем, используя установпенные контакты для предварительного набора, определяются и недостающие звенья схемы коммутации. Любители головоломок и ребусов получат истинное наслаждение.

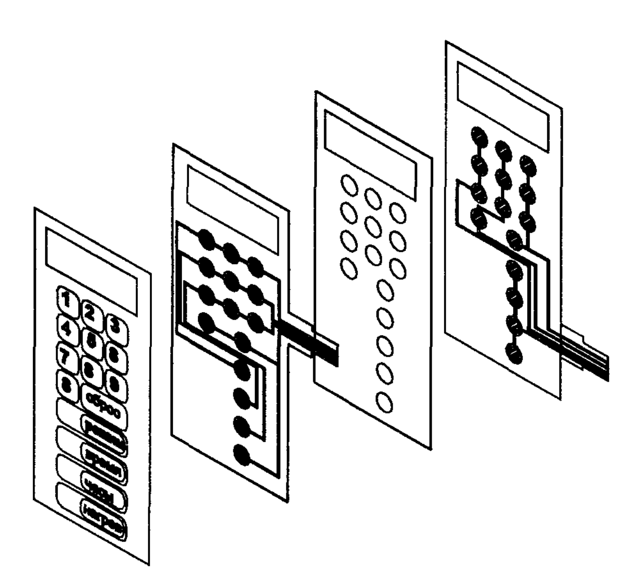



**Рис. 2.29. Внутреннее строение пленочной клавиатуры от блока управления "БУВИ-2"**

Типичными неисправностями, связанными с работой клавиатуры, являются:

- пропадание контакта в соединительном разъеме,
- обрыв проводящих дорожек,
- залипания.

Первый случай наиболее простой, и часто бывает достаточно поправить контакт в разъеме, чтобы устранить возникшие проблемы. Поэтому всегда имеет смысл начинать именно с проверки этого звена, особенно если выводы клавиатуры в разъеме имеют некоторый люфт и жестко не фиксированы.

Обрыв проводящих дорожек чаще всего происходит в выводах клавиатуры. Это обусловлено тем, что данное место наиболее подвержено деформации и, кроме того, проводники здесь являются открытыми, в отличие от остальных частей клавиатуры, где проводящее покрытие закрыто пленкой с обеих сторон. Обнаружить дефектные дорожки можно, рассматривая их на просвет. Восстановить поврежденные участки проще всего проводящим клеем. Технология такого ремонта настолько очевидна, что никаких пояснений не требуется. При отсутствии такого клея можно вырезать тонкую полоску медной или алюминиевой фольги и приклеить ее на поврежденный участок скотчем. Не следует пытаться решить проблему с помощью паяльника, поскольку при нагреве металл, из которого состоят проводящие дорожки, будет скатываться в шарики и таким образом только усугубит неприятности. Даже если вам удастся припаять перемычку, используя низкотемпературный припой, надежность такого соединения будет невелика. Через какое-то время припой отвалится, попутно прихватив с собой часть проводящих дорожек.

В некоторых случаях обрыв дорожек происходит внутри клавиатуры. Помимо производственного брака это может быть вызвано чрезмерным усердием при нажатии клавиш и попаданием влаги на проводящую поверхность. Как правило, дорожки изготовлены методом напыления тонкого слоя серебра на полимерную пленку. Присутствие влаги вызывает окисление серебра, что может послужить причиной разрушения дорожки. Характерно, что одновременно с этим может происходить и замыкание соседних дорожек, поскольку вода, перенасыщенная ионами серебра, является хорошим электролитом, проводящим ток. Поэтому при уходе за микроволновой печью клавиатуру можно протереть влажной ветошью, но нельзя ее мыть.

Несколько слов о том, как можно обнаружить обрыв проводящих дорожек. Для этого входные и выходные шины нужно соединить между собой и подключить к тестеру, как показано на рис. 2.30.

При такой схеме подключения при нажатии любой кнопки будет измеряться сопротивление соответствующего соединения. Если проводящие дорожки где-нибудь оборваны, то нажатие на определенные клавиши не приведет к изменению показаний прибора. Причем в зависимости от того, какие именно клавиши не срабатывают, можно ориентировочно определить местоположение дефектного участка. Например, если на предыдущем рисунке участок, отмеченный утолщенной линией, имеет обрыв, то не будут работать кнопки "5" и "6".

Если ни одна из кнопок не работает, то возможной причиной этого может быть неразомкнутый контакт в какой-либо кнопке или замыкание шин. Если виной всему кнопка, то проверить это можно, используя схему на рис. 2.30. Показания тестера будут фиксировать наличие замыкания, в то время как ни одна из кнопок не нажата. Убрав перемычки, соединяющие проводящие дорожки, и измерив сопротивление между каждой парой входных и выходных дорожек, залипшую кнопку можно локализовать. Причиной таких залипаний может быть деформация пленки и отслоение проводящего покрытия в области контактных площадок. Последний вариант типичен для клавиатур, у которых в качестве проводящего покрытия используется нечто, напоминающее уголь. Вещество, из которого состоят контактные площадки, осыпаясь, заполняет промежуток между ними и при некотором накоплении приводит к замыканию.

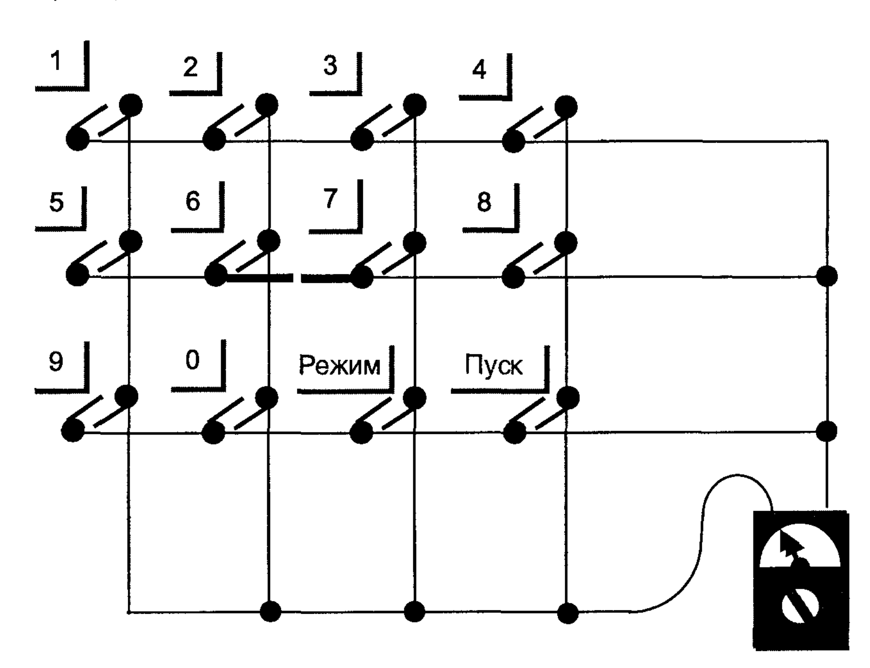



**Рис. 2.30. Обнаружение обрыва проводящих дорожек в пленочной клавиатуре**

Иногда замыкание происходит между соседними дорожками. В основном это происходит при попадании влаги внутрь клавиатуры и, как правило, вблизи ленточного вывода, где имеются небольшие щели. Обнаружить такой несанкционированный контакт можно путем измерения сопротивления между соседними дорожками. Оно должно быть бесконечным или около того. В противном случае можно отклеить клавиатуру от корпуса блока управления и через прозрачную тыльную сторону попытаться обнаружить место замыкания.

Теоретически считается, что клавиатура, как, впрочем, и большинство деталей микроволновой печи, ремонту не подлежит. И приходится действовать в соответствии с поговоркой: "Если нельзя, но очень хочется, то можно". Если в клавиатуре произошел внутренний обрыв или замыкание, то для восстановления ее работоспособности требуется вскрытие. Для этого нужно расчленить склеенные между собой слои в месте предполагаемого дефекта, устранить его и вновь все склеить. Чтобы вскрытие не показало, что больной умер от вскрытия, при его проведении нельзя допускать попадания клея на токопроводящие дорожки и желательно не притрагиваться к ним руками. Но даже при соблюдении всех мер предосторожности иногда подобная операция приводит к тому, что часть дорожки оказывается на одном слое, а часть — на другом. Чтобы при последующем склеивании контакт не исчез, нужно вдоль поврежденного участка проложить тонкую полоску фольги (либо воспользоваться токопроводящим клеем).

В последнее время кроме кнопок на лицевой панели блока управления иногда размещают механические генераторы импульсов. Эти устройства позволяют сократить время набора информа-

ции и уменьшить количество кнопок на клавиатуре. Принцип действия и устройство генератора импульсов очень просты и поясняются на рис. 2.31.

При повороте ручки генератора на некоторый угол φ поворачивается и укрепленный на той же оси кронштейн 1. На кронштейне имеется две пары ламелей 2. Ламели первой пары поочередно замыкаются с веерообразно расположенными металлическими полосками 3, электрически соединенными между собой. Эти полоски могут быть изготовлены непосредственно на плате методом травления. Вторая пара ламелей обеспечивает скользящий постоянный контакт с выходными клеммами генератора. Если схема подключения механического генератора импульсов соответствует приведенной на рисунке, то поочередное замыкание и размыкание контакта между ламелями и полосками, при повороте ручки, приводит к появлению импульсов на его выходе. Ламели первой пары немного смещены друг относительно друга, поэтому выходные импульсы на выходах разнесены во времени. Это позволяет микроконтроллеру определить направление вращения ручки, что необходимо, если один и тот же генератор используется как для увеличения показаний индикатора, так и для их уменьшения.

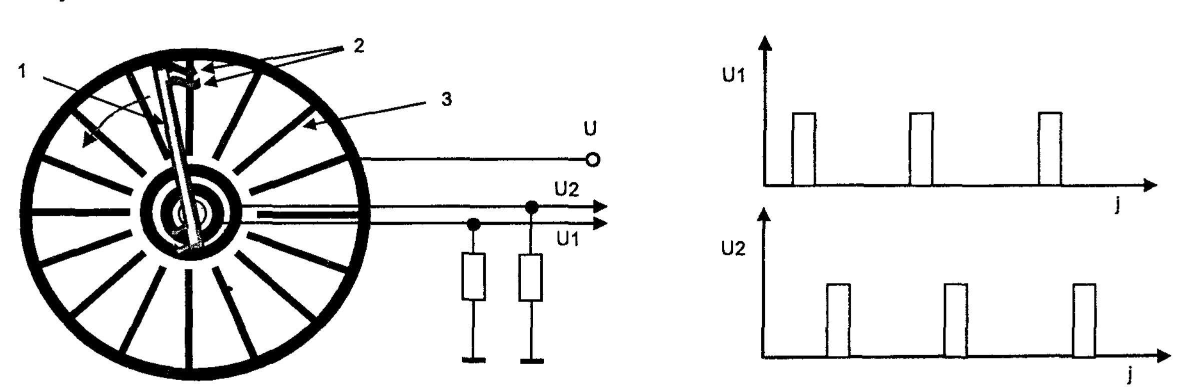



**Рис. 2.31. Устройство механического генератора импульсов**

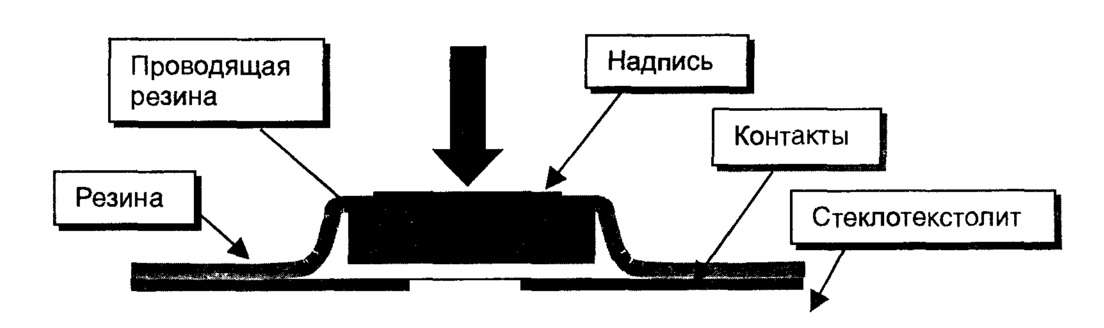



**Рис. 2.32. Вариант кнопки для блока управления микроволновой печи**

Иногда встречается тип клавиатуры, в котором кнопки изготовлены по планарной технологии, как показано на рис. 2.32.

При нажатии на кнопку замыкаемые контакты прижимаются цилиндром из проводящей резины, обеспечивая их замыкание. Сопротивление такого контакта может составлять сотни ом, однако этого достаточно для того, чтобы микроконтроллер отличил замкнутое состояние от разомкнутого. Однако с течением времени сопротивление по разным причинам может значительно возрасти, и взаимопонимание с контроллером пропадает. Исправить это можно, если приклеить кусочек фольги на замыкающую поверхность.

### *Индикатор*

Для отображения вводимой с клавиатуры информации и текущего состояния работы микроволновой печи служат знакосинтезирующие индикаторы. Они преобразуют электрические сигналы в видимое изображение цифр, букв и т.д. Наибольшее распространение получили индикаторы, в основу работы которых положены такие физические эффекты, как: катодолюминесценция (в вакуумных люминесцентных), электрооптические эффекты в жидких кристаллах (в жидкокристаллических) и инжекционная электролюминесценция в p-n переходах (в полупроводниковых).

По способу отображения информации индикаторы можно подразделить на сегментные и матричные. В первом случае элементы отображения выполнены в виде сегментов, из которых можно составить цифры или буквы. Типичным представителем этого семейства может служить восьмисегментный индикатор, представленный на рис. 2.33а. Он позволяет индицировать все цифры и ограниченное число букв.

Матричный индикатор представляет собой набор элементов в виде точек, сгруппированных по строкам и столбцам (рис. 2.33б). С его помощью можно индицировать цифры, любые буквы, как латинского алфавита, так и кириллицы, а также различные знаки и пиктограммы.

Индикаторы могут быть многоразрядными, имеющими несколько знакомест в одном корпусе (рис. 2.33в). Если индикатор специально предназначен для работы в блоке управления микроволновой печи, он может содержать специфичные мнемосхемы, отображающие текущий режим работы.

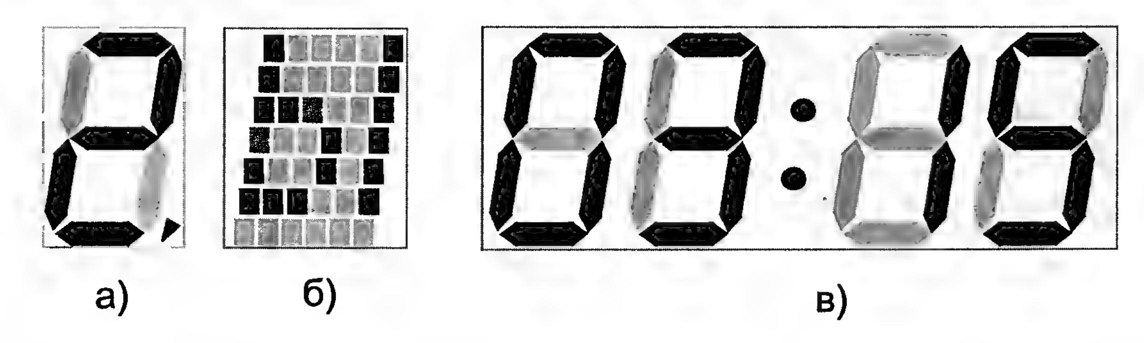



**Рис. 2.33. Восьмисегментный (а), матричный (б) и многоразрядный (в) индикаторы**

Существует две основные схемы включения знакосинтезирующих индикаторов: статическая и мультиплексная. При статическом режиме работы все элементы отображения (сегменты, точки и т.д.) имеют отдельные выводы. Управляющие сигналы подаются одновременно на все элементы, участвующие в отображении информации.

При мультиплексном режиме элементы отображения не имеют независимых выводов. Одноименные элементы всех знакомест (или элементы одной строки в матричном индикаторе) подключаются к отдельной общей шине питания. Напряжение на указанные шины подается последовательно во времени. В каждый конкретный момент под напряжением находится только одна шина. Знакоместа (столбцы в матричном индикаторе) имеют независимые выводы цепей управления. Если на какое-либо знакоместо подать постоянный управляющий сигнал, то поочередно будут высвечиваться все элементы данного знакоместа. Для того чтобы индицировался нужный набор сегментов, управляющий сигнал подается только в те моменты, когда на соответствующие этим сегментам шины подано напряжение питания. При этом может наблюдаться некоторое мерцание элементов отображения, поскольку время их включения относительно невелико, по сравнению с периодом между включениями. Чтобы это не раздражало глаза, частота подачи импульсов питания на шины должна быть более 40 Гц. В этом случае человеческий глаз не замечает мерцания, даже если оно имеется. В качестве наглядного примера на рис. 2.34 показан типичный индикатор для микроволновой печи и временные диаграммы сигналов на всех выводах при высвечивании слова “End”, сигнализирующего об окончании работы.

Достоинством мультиплексного режима является то, что он позволяет значительно сократить число выводов индикатора. Например, для нормальной работы полупроводникового матричного индикатора на рис. 2.33б в статическом режиме требуется 43 вывода, а в мультиплексном — 13.

Рассмотрим более подробно конструкции и основные особенности индикаторов, используемых в микроволновых печах.

Вакуумный люминесцентный индикатор (рис. 2.35) представляет собой ламповый триод, заключенный в плоский стеклянный корпус, из которого откачан воздух. Аноды выполнены в виде сегментов, покрытых катодолюминофором, светящихся под воздействием электронной бомбардировки. В зависимости от состава применяемого люминофора сегменты могут иметь различные цвета свечения. Величина анодного напряжения большинства индикаторов составляет 27 — 30 В.

Прямонакальный катод выполнен в виде нескольких нитей тонкой вольфрамовой проволоки с оксидным покрытием, закрепленной на растяжках. Обычно питание накала осуществляется пере-

менным напряжением 2.4 В: Срок службы вакуумного люминесцентного индикатора в значительной степени определяется долговечностью оксидного катода. Рабочая температура катода, соответствующая номинальному напряжению накала, выбирается так, чтобы обеспечить его максимальную долговечность. Повышенное напряжение накала ускоряет процесс испарения эмиссионно-активного слоя, а пониженное ослабляет устойчивость катода к воздействию факторов, отравляющих оксидное покрытие. Если напряжение накала отличается от номинального на 10%, то срок службы индикатора сокращается примерно на порядок.

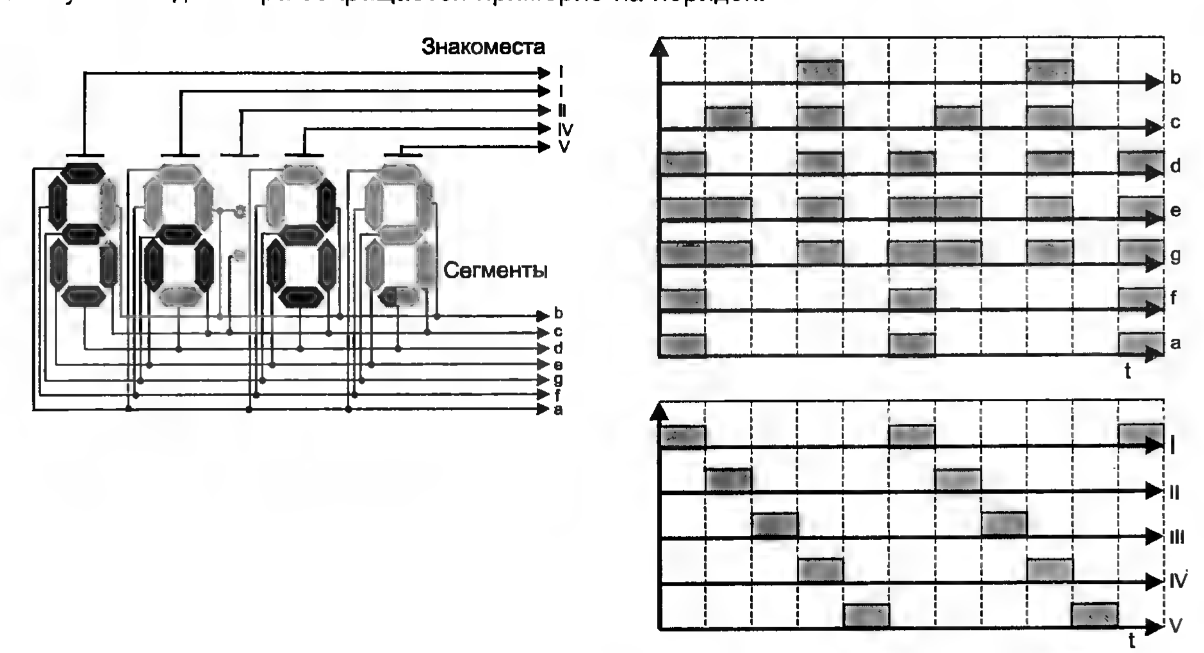



Рис. 2.34. Работа многоразрядного индикатора в мультиплексном режиме

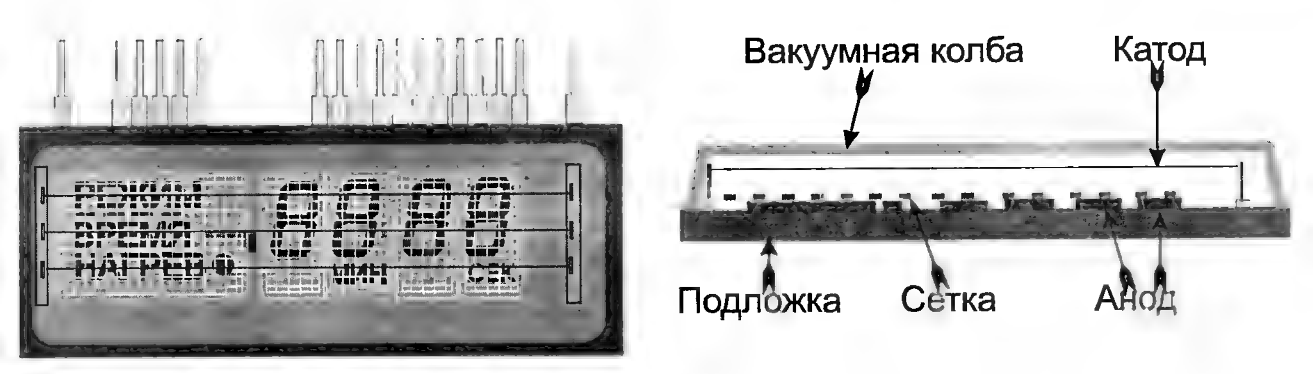



Рис. 2.35. Вакуумный люминесцентный индикатор для микроволновой печи

Сетка выполнена из вольфрама, имеет мелкую структуру и высокую прозрачность для электронов. Для полного снятия свечения анодов-сегментов на сетку необходимо подать запирающее (отрицательное) напряжение от 1.5 до 5 В.

Жидкокристаллические индикаторы являются пассивными. Сами они света не излучают, поэтому для их работы требуется источник проходящего или отраженного света. Жидкие кристаллы представляют собой органические соединения, находящиеся в промежуточном состоянии между твердым (кристаллическим) и изотропножидким. Под воздействием электрического поля молекулы жидких кристаллов переориентируются, в результате чего меняется его прозрачность. На рис. 2.36 показана конструкция жидкокристаллического индикатора, работающего в отраженном свете. Между двумя прозрачными стеклянными пластинами 1 помещается жидкокристаллическое вещество 2. На внутреннюю поверхность верхней (лицевой) пластины наносятся электроды из прозрачной электропроводящей пленки 3 (например, двуокиси олова), выполненные в виде сегментов требуемой формы. Нижний электрод 4 имеет высокий коэффициент отражения и является общим для каждого знакоместа. Расстояние между пластинами составляет 5 — 20 мкм.

Если на какой-либо сегмент подано напряжение, то интенсивность отраженного света, проходящего сквозь жидкокристаллическое вещество, значительно ослабевает, в результате чего данный сегмент выглядит более темным. При отсутствии напряжения свет практически беспрепятственно отражается от зеркальной поверхности нижней пластины.

Достоинством жидкокристаллических индикаторов является их очень малое энергопотребление, недостатком — низкая контрастность, особенно при слабой освещенности. Указанный недостаток отсутствует в индикаторах, работающих в проходящем свете. Отличие таких индикаторов от рассмотренного состоит в том, что общий электрод также является прозрачным, а за нижней пластиной расположен внутренний источник света. Кроме того, существуют жидкокристаллические индикаторы, в основу работы которых положены другие физические эффекты, позволяющие, в частности, получать цветное изображение. Однако в настоящее время все эти разновидности индикаторов для микроволновых печей можно рассматривать как редкую экзотику.

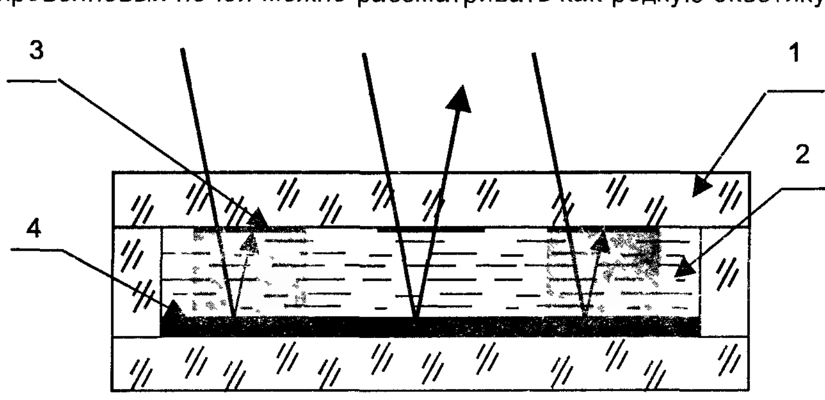



**Рис. 2.36. Принцип действия и устройство жидкокристаллического индикатора**

Ресурс жидкокристаллических индикаторов ограничен тем, что со временем ухудшается контраст между активными и пассивными зонами, нарушается ориентация молекул, увеличивается время переключения. Это связано с электрохимическими явлениями на границе жидкий кристалл — подложка. Скорость деградационных процессов связана с наличием постоянной составляющей напряжения возбуждения, которая приводит к электролизу в жидком кристалле и газовыделению. Электроды теряют свою прозрачность, и сегменты становятся видимыми в отсутствие напряжения возбуждения, нарушается герметичность, растет ток потребления.

Полупроводниковые индикаторы представляют собой набор светодиодов, выполненных в форме сегментов, расположенных на общей подложке. Излучение светодиода возникает в области p-n перехода при пропускании через него прямого тока. При этом происходит возбуждение атомов, т.е. "накачка" электронов на более высокие энергетические уровни. Такое состояние атомов является нестабильным, поэтому они стремятся вернуться в исходное положение. В процессе возврата дополнительная энергия, полученная во время возбуждения, высвобождается в виде фотонов, что приводит к свечению. Излучение светодиодов происходит в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн. На полупроводники, излучающие энергию в инфракрасном диапазоне, иногда наносят люминофор, который преобразует невидимое излучение в видимое.

К достоинствам полупроводниковых индикаторов можно отнести низкое напряжение питания, совместимость с микросхемами, высокое быстродействие, механическую прочность, надежность и долговечность. К недостаткам относятся большие токи потребления, высокая стоимость.

Как правило, индикаторы для микроволновых печей ремонту не подлежат. Нет большого криминала в том, чтобы при замене использовать индикатор другого типа, но основанного на том же принципе действия. Однако это потребует некоторой переделки печатной платы, поскольку выводы у индикаторов разных типов обычно не совпадают.

### *Тиристоры и симисторы*

Тиристор — это полупроводниковый прибор ключевого типа, проводящий ток в одном направлении. Он имеет три электрода: анод, катод и управляющий электрод. Внешний вид тиристоров и симисторов показан на рис. 2.37.

Анод тиристора электрически соединен с корпусом прибора. Семейство вольт-амперных характеристик тиристора показано на рис.2.38. Прямые ветви каждой из характеристик имеют три участка. Первый от начала координат до точки А, участок с высоким сопротивлением аналогичен

обратной ветви обычного выпрямительного диода. В этом состоянии тиристор выключен, и ток через него практически не проходит. Второй участок, между точками А и В, соответствует неустойчивому состоянию, когда тиристор даже при незначительном превышении напряжения, называемого напряжением переключения Uпер, переходит в состояние с малым сопротивлением (точка В). Этот участок характеризуется отрицательным дифференциальным сопротивлением, увеличение тока на нем сопровождается снижением напряжения между катодом и анодом. Участок от точки В и далее характеризуется высокой проводимостью или малым сопротивлением и аналогичен прямой ветви полупроводникового диода.

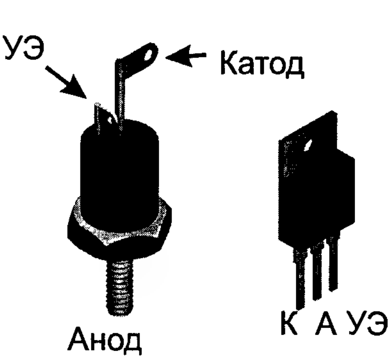



**Рис. 2.37. Внешний вид корпусов для тиристоров и симисторов используемых в микроволновых печах**

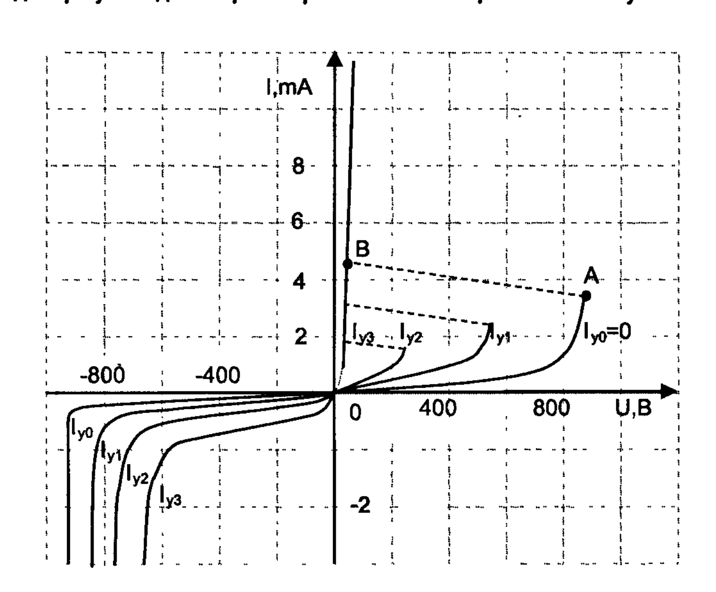



**Рис. 2.38. Вольт-амперные характеристики тиристоров**

Если через цепь управления пропустить ток управления Iу, то напряжение переключения уменьшается. Постепенно увеличивая Iу, мы достигнем тока спрямления, при котором участок с отрицательным сопротивлением полностью исчезает.

На практике рабочее напряжение выбирается меньше максимального напряжения переключения, которое достигается при Iу=0, поэтому при отсутствии тока управления тиристор находится в закрытом состоянии. В свою очередь, ток управления обычно выбирается больше, чем ток спрямления, соответственно, при наличии тока управления тиристор всегда обладает низким сопротивлением независимо от анодного напряжения.

Примечательной особенностью тиристора является то, что он, переключенный в состояние с высокой проводимостью, будет находиться в этом состоянии сколь угодно долго даже при снятии управляющего сигнала. Это свойство позволяет включать тиристор с помощью коротких импульсов управляющего тока. Для того чтобы выключить тиристор, необходимо путем уменьшения напряжения в анодной цепи, снизить ток до некоторого малого значения, имеющего порядок тока спрямления и называемого током удержания. Если тиристор стоит в цепи переменного тока, то его выключение автоматически происходит в момент прохождения напряжения через ноль.

Обратная ветвь вольт-амперной характеристики тиристора при отсутствии управляющего тока аналогична соответствующей характеристике диода. Появление тока управления вызывает не-

значительное увеличение обратного тока тиристора. В целом можно считать, что при отрицательном напряжении на аноде ток через тиристор не идет независимо от состояния управляющего электрода.

Тиристоры используются, в основном, как электронные ключи и регуляторы мощности. Они способны практически без потерь коммутировать цепи, по которым проходят токи в десятки и даже сотни ампер. Однако тиристоры имеют одно существенное неудобство — они проводят ток только в одну сторону, что ограничивает их использование в цепях переменного тока.

Этот недостаток устранен в симисторах. Свое наименование симистор получил от объединения слов “симметричный тиристор”. Кое-кто на Западе обзывает симистор триаком. Иногда это слово используется и в нашей технической литературе. Чтобы не возникало путаницы, будем считать, что “триак” — это псевдоним симистора.

Симистор способен проводить ток в обоих направлениях. Переключение из закрытого состояния в открытое происходит при подаче напряжения на управляющий электрод. Для того чтобы вновь закрыть симистор, необходимо изменить полярность напряжения на основных электродах. В этом нет проблемы, поскольку симистор предназначен для работы в цепях переменного тока, где это автоматически происходит через каждые полпериода.

Конструктивно симисторы изготавливаются в тех же корпусах,что и тиристоры. Поэтому, по аналогии, основные электроды симисторов иногда называют анодом и катодом. На самом деле понятия “анод” и “катод” для симистора теряют свой смысл, поскольку его основные электроды равноценны. Существуют специальные названия для основных электродов симистора, используемые в технической литературе — силовой электрод со стороны управляющего электрода, сокращенно СЭУ, и силовой электрод со стороны основания прибора — СЭ. Однако русский язык отвергает такие длинные и мудреные названия, поэтому в обиходе по-прежнему пользуются терминами “анод” и “катод”.

Вольт-амперные характеристики симистора показаны на рис. 2.39.

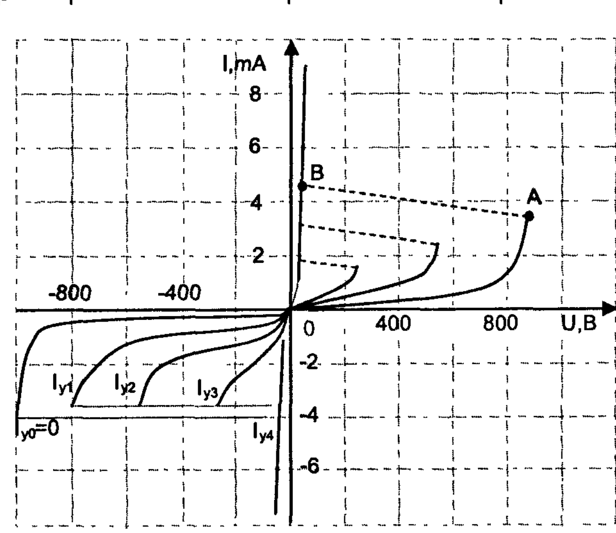



**Рис. 2.39. Вольт-амперные характеристики симисторов**

В отличие от тиристора, у симистора обратная ветвь характеристики напоминает прямую ветвь. Но именно напоминает, а не является ее зеркальным отражением. Симистор нельзя рассматривать как два встречно включенных тиристора в одном корпусе. В противном случае пришлось бы иметь два независимых управляющих электрода, что заметно усложняет схему управления. Включение симистора в произвольном направлении осуществляется от одного источника сигнала. Причем управляющий сигнал может быть как разнополярным, когда полярность между катодом и управляющим электродом соответствует полярности между катодом и анодом, так и однополярным, когда независимо от полярности напряжения между анодом и катодом на управляющий электрод подается отрицательный относительно катода потенциал. Первый вариант более предпочтителен, с точки зрения параметров симистора, но в ряде случаев проще использовать второй вариант.

Основные отличия между прямыми и обратными ветвями вольт-амперных характеристик симистора состоят в том, что напряжение переключения и ток спрямления для прямой ветви меньше

соответствующих параметров обратной ветви. Из этого можно сделать следующие практические выводы: если напряжение между анодом и катодом больше напряжения переключения прямой ветви и меньше напряжения переключения обратной ветви, то симистор начнет проводить ток в одном направлении, т.е. будет работать как выпрямительный диод. Аналогичная ситуация возникнет, если напряжение на приборе в обоих случаях меньше напряжения переключения, но на управляющем электроде имеется сигнал, позволяющий включить симистор только в прямом направлении. Поскольку параметры полупроводниковых приборов заметно зависят от рабочей температуры, то при выборе симистора необходимо, чтобы рабочее напряжение с запасом отличалось от напряжения переключения. То же самое относится и к току управления: он должен быть заведомо больше тока спрямления.

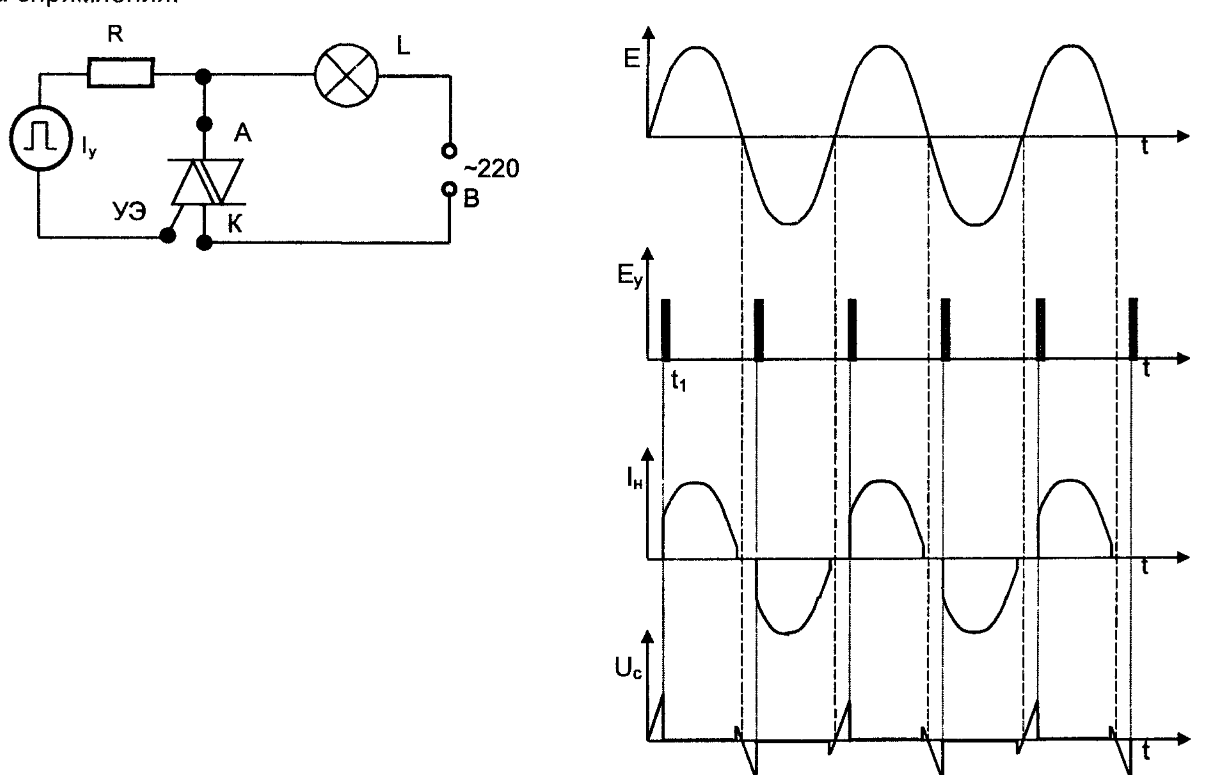



**Рис. 2.40. Схема включения симистора в цепь переменного тока и соответствующие ей осциллограммы токов и напряжений**

Типовая схема включения симистора в цепь переменного тока и соответствующие ей осциллограммы токов и напряжений показаны на рис. 2.40. В качестве нагрузки в схеме используется обыкновенная лампа накаливания. Источником анодного напряжения является бытовая электрическая сеть, а на управляющий электрод подаются импульсы отрицательной полярности от специального генератора.

В моменты времени $t \pm n\pi$ управляющие импульсы отпирают симистор, его сопротивление резко снижается и через него начинает проходить ток. Напряжение на симисторе в этот момент падает примерно до 1 В. Такое состояние продолжается до тех пор, пока переменный ток, проходящий через симистор, не станет меньше тока удержания. В этот момент симистор запирается и остается в таком положении до прихода следующего управляющего импульса. После этого все повторяется, но с обратной полярностью токов и напряжений. В принципе, управляющий сигнал не обязательно должен быть импульсным. Он может быть и постоянным. В этом случае симистор отпирается, когда анодный ток превышает ток спрямления. При этом возрастает ток, потребляемый цепью управления, но, как правило, он несопоставим с током анодной цепи, и этим фактором можно пренебречь.

Достоинство импульсного управления заключается в том, что при этом появляется возможность регулировки выходной мощности. Если задерживать момент подачи управляющих импульсов на некоторое время относительно начала полупериода, то действующее значение напряжения, прикладываемого к нагрузке, уменьшится (рис. 2.41). Таким образом, изменяя время задержки управляющих импульсов, можно регулировать мощность в нагрузке от максимального значения до нуля.

В микроволновых печах рассмотренный выше принцип фазового управления мощностью, как правило, не применяется. Однако он используется в специальных сетевых адаптерах, позволяющих в сеть напряжением 220 В включать приборы, предназначенные для работы с меньшим напряжением. В частности, во многих странах мира (например, в США), стандартное напряжение бытовой электрической сети составляет 110 В, соответственно все электробытовые приборы, приобретенные там и включенные здесь, будут работать одинаково: в качестве фейерверка. Чтобы этого не произошло, и служат вышеуказанные адаптеры. Они представляют собой компактные приборы, по виду напоминающие электрический тройник, вставляемый в розетку, и начинены симистором и схемой его управления.

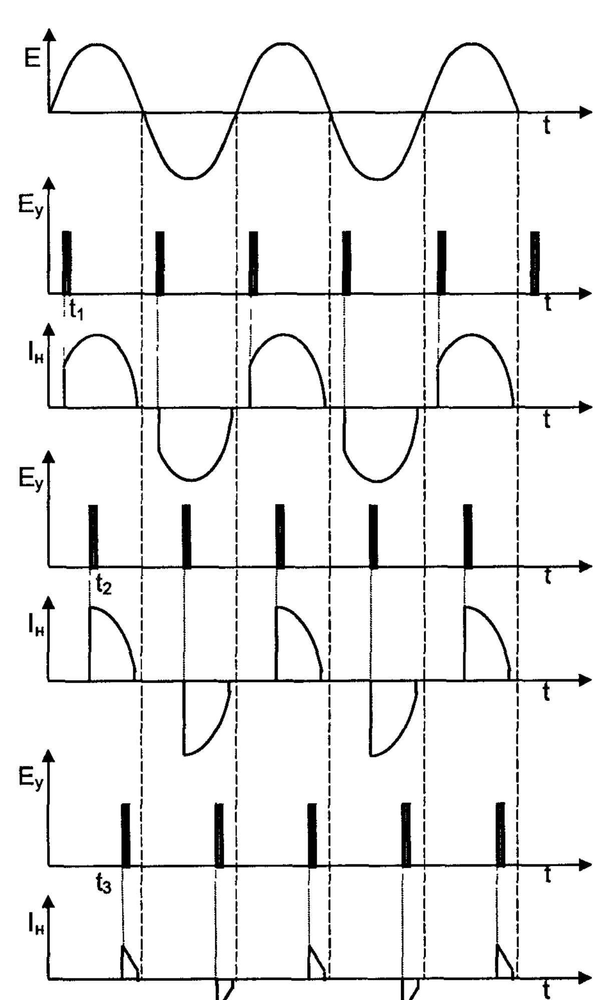



**Рис. 2.41. Форма тока в нагрузке в зависимости от времени подачи импульса на управляющий электрод симистора**

В микровопновых печах нагрузка всегда включается через трансформатор, который, в частности, может работать в режиме насыщения (рис. 2.42). В этом случае кривая тока будет несколько отличаться от приведенной выше.

Во-первых, огибающая линия тока изменит свою форму. Из синусоидальной она превратится в более плоскую, ограниченную током насыщения. Кроме того, ток при индуктивной нагрузке отстает по фазе от напряжения на угол $\varphi$, примерно равный $\pi/2$. Величина этого угла зависит от соотношения между активной и реактивной составляющими сопротивления нагрузки. Вследствие этого на тот же угол должны быть смещены и управляющие импульсы. Для обеспечения надежного включения в системах с индуктивными нагрузками чаще всего применяют широкие управляющие импульсы или пачки узких импульсов.

Как было установлено ранее, неправильный выбор режима может привести к тому, что симистор будет работать только в положительные полупериоды. В случае активной нагрузки это обычно не влечет за собой особых последствий. Однако при индуктивном характере нагрузки это чревато большими неприятностями. Ток нагрузки будет содержать постоянную составляющую, для

которой индуктивность практически не представляет сопротивления. В результате, если в качестве нагрузки используется трансформатор микроволновой печи, его первичная обмотка будет сильно перегреваться и поручительство за ее дальнейшую работоспособность будет граничить с безответственностью. В микроволновых печах типа "Лена" это основная причина выхода из строя накальных трансформаторов. Причем самое неприятное в этом случае то, что процесс может начаться самопроизвольно, в тот момент, когда печь находится в нерабочем состоянии, но подключена к сети.

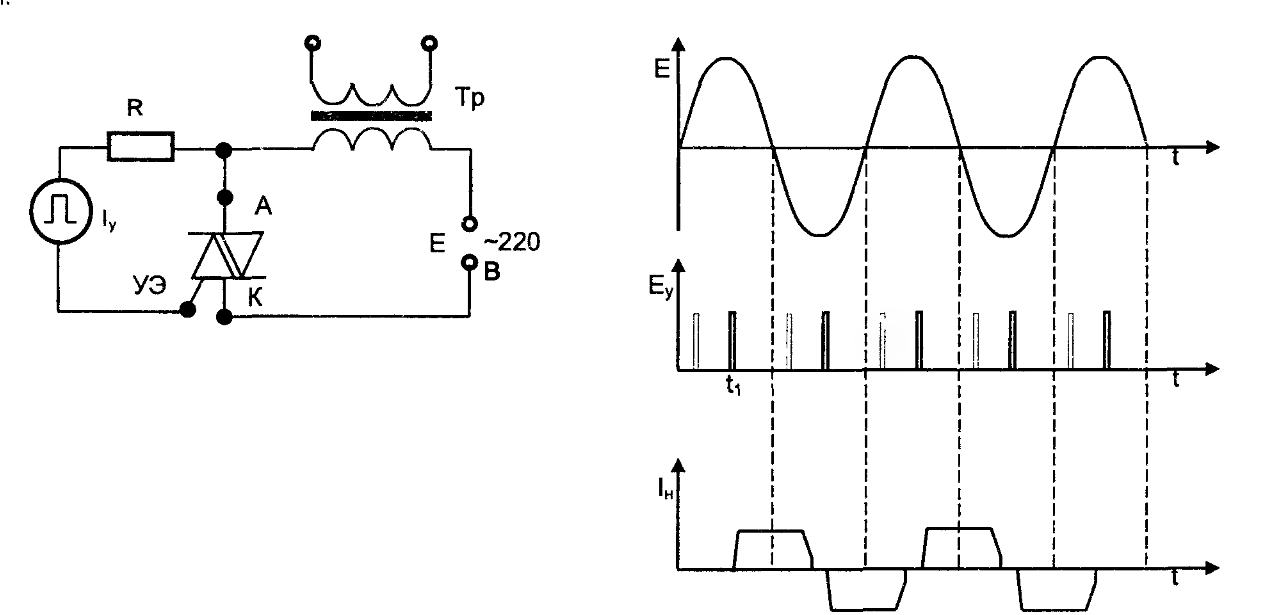



**Рис. 2.42. Особенности включения через симистор трансформатора микроволновой печи**

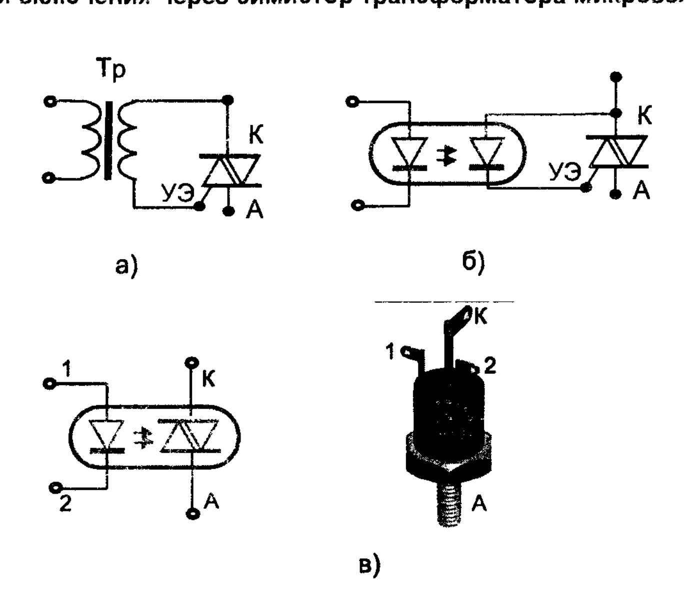



**Рис. 2.43. Варианты электрической развязки силовой и управляющей цепей при использовании симистора**

Возможной причиной неправильного включения симистора может быть выход из строя одного из плеч диодного моста, питающего цепь управления. При этом в один из полупериодов сигнал управления либо вообще отсутствует, либо включает симистор с задержкой, что приводит к асимметричной работе последнего и, как результат, к появлению постоянной составляющей тока со всеми вытекающими последствиями.

В некоторых случаях, для того чтобы обеспечить хорошую развязку между анодной и управляющей цепями, управляющий электрод подключается к схеме через импульсный трансформатор или оптронную пару (рис. 2.43а, б). В последнем варианте симистор отпирается за счет возникающей на электродах фотодиода электродвижущей силы при его освещении светодиодом. Однако дан-

ная схема будет работать только при небольших токах управления. Ситуация упрощается, если в качестве переключающего элемента использовать оптосимистор (рис. 2.43в). Его отличие от обычного симистора состоит в том, что он не имеет управляющего электрода, а в проводящее состояние включается за счет фотоэффекта при освещении p-n переходов встроенным в корпус светодиодом. Поэтому анодная цепь оптосимистора полностью изолирована от цепи управления.

### *Микроконтроллеры*

Контроллером принято называть специализированную микроЭВМ, предназначенную для управления конкретными устройствами. Набор функций контроллера обычно ограничен рамками тех задач, которые необходимо решать с помощью этих устройств. Если все основные элементы контроллера расположены на одной микросхеме, то его без колебаний можно назвать микроконтроллером (рис. 2.44).

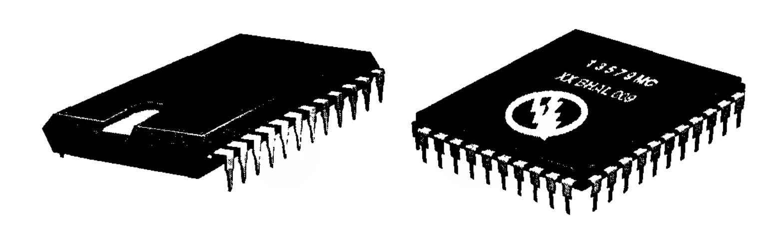


**Рис. 2.44. Внешний вид некоторых микроконтроллеров**

С появлением микроконтроллеров цифровая и цифро-аналоговая схемотехника вступила в качественно новый этап своего развития. Задача всякой электронной схемы — это генерация требуемых выходных сигналов в зависимости от сигналов на входе. Раньше для решения этой задачи во многих случаях требовалось создание сложных электронных схем, состоящих из триггеров, логических элементов, дешифраторов и т.п. При этом небольшое изменение функций схемы иногда требовало существенной ее переделки. Микроконтроллер позволяет тот же перечень задач решать программными средствами. В этом случае соотношение между входными и выходными сигналами определяется текстом программы, которая при желании достаточно просто может быть изменена. Таким образом, одна и та же схема может быть использована и для управления микроволновой печью, и для регулировки расхода топлива в автомобиле.

Сфера применения микроконтроллеров постоянно расширяется. Это связано с тем, что они обладают большими возможностями при сравнительно низкой себестоимости. В настоящее время в мире ежегодно продаются сотни миллионов микроконтроллеров различного назначения. Практически вся электробытовая техника имеет модели со встроенными микроконтроллерами. В состав некоторых микросхем иногда включается миниатюрная литиевая батарея, и таким образом появляется возможность использовать микроконтроллеры в предметах, которые связаны с электричеством примерно так же, как соленый огурец с теоремой Пифагора. Примером могут служить различные смарт-карты, самонаводящиеся авиабомбы и музыкальные поздравительные открытки. Похоже, недалек тот день, когда микроконтроллерами будут укомплектованы гвозди и туалетная бумага.

В блоках управления микроволновых печей используются простейшие 8-битные контроллеры. Как правило, они относятся к разряду “заказных” и имеют однократно программируемую память, т.е. указанные микроконтроллеры предназначены для работы исключительно в конкретном устройстве и не могут быть заменены ни на что другое. “Заказной” характер микроконтроллера означает, что фирма потребитель заказывает его у фирмы производителя под свою конкретную разработку. Следствием этого является то, что из-за ограниченного спроса на эти изделия они практически отсутствуют в свободной продаже. Поэтому, если микроконтроллер вышел из строя, бессмысленно искать ему замену в магазине радиотоваров. Единственное место, где его можно отыскать, это сервисная ремонтная служба компании, производителя данной бытовой техники. Цели и объем данной книги не позволяют подробно останавливаться на устройстве и описании работы каждого из многочисленного семейства микроконтроллеров. (Для справки: только компания “Моторола” производит более 300 наименований.) Поэтому мы рассмотрим только общие вопросы, которые позволят как-то ориентироваться в этой проблеме, а конкретные рецепты приводятся непосредственно в описаниях работы некоторых блоков управления.

В состав микроконтроллера входят следующие основные элементы: микропроцессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ или RAM, в латинской транскрипции), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ или ROM), порты ввода-вывода. Дополнительно контроллеры могут

комплектоваться различными таймерами, аналого-цифровыми преобразователями и т.п., в зависимости от сферы их применения. Блок-схема типового контроллера представлена на рис. 2.45.

Основной элемент микроконтроллера — это процессор. Он синхронизирует работу всех остальных устройств и следит за их деятельностью. Кроме того, внутри процессора имеется арифметико-логическое устройство (АЛУ), которое условно можно представить как встроенный калькулятор. Во время работы процессор последовательно считывает информацию из памяти, распознает записанные там инструкции и либо сам их исполняет, например, когда требуются вычисления, либо поручает это своим коллегам.

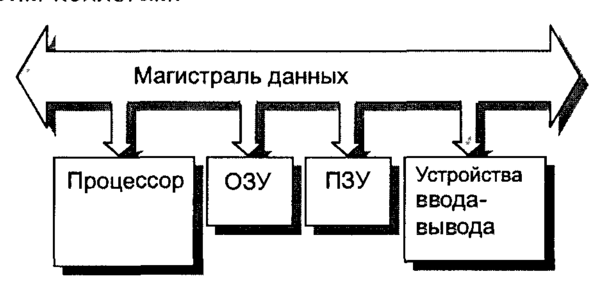



**Рис. 2.45. Блок-схема контроллера**

Последовательность действий процессора задается программой, хранимой в ПЗУ. Обычно программа записывается в процессе производства микроконтроллера и после этого не может быть изменена. Объем постоянной памяти обычно составляет единицы или десятки килобайт. (Один байт информации позволяет хранить любую цифру, букву кириллицы или латинского алфавита, математические и некоторые другие знаки, всего 256 символов, поэтому он принят в качестве единицы измерения.)

Вводимые пользователем данные (время работы, режим и т.д.) и результаты промежуточных вычислений процессора хранятся в ОЗУ. Информация, хранимая в ОЗУ, в любой момент может быть прочитана процессором или изменена. При отключении питания информация пропадает, в отличие от ПЗУ, где она хранится вечно. Объем ОЗУ в микроконтроллерах невелик и составляет всего несколько сотен байт.

Порты ввода-вывода служат для связи микроконтроллера с внешним миром. Они обеспечивают ввод информации с клавиатуры, ее отображение на индикаторе и выдачу управляющих сигналов на исполнительные устройства, такие, как реле, симисторы, сигнальные зуммеры и т.д. Для согласования по мощности выходы портов иногда подключают к исполнительным устройствам через буферные усилители.

В некоторых печах имеются различного рода датчики (температуры, пустой камеры, веса, влажности и т.д.), которые имеют аналоговый сигнал на выходе. Для преобразования этих сигналов в понятный микроконтроллеру цифровой код служит входящий в его состав аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Если печь имеет сразу несколько датчиков, АЦП может работать в мультиплексном режиме, поочередно отслеживая их показания.

Передача данных от одного блока к другому осуществляется по магистрали данных. Выходы всех блоков микроконтроллера имеют три устойчивых состояния: логические “0” и “1”, а также обрыв (так называемое Z-состояние). В последнем случае блок может быть полностью электрически отсоединен от магистрали данных. Это позволяет процессору упорядочить связь между блоками таким образом, чтобы в каждый момент времени к магистрали данных было подключено только по одному выходу и требуемое число входов.

Основной вопрос при ремонте блока управления микроволновой печи — это определить, связана ли поломка с работой микроконтроллера, и если да, то можно ли этому помочь. Необходимо заметить, что подобные неисправности встречаются не часто, поэтому, прежде чем грешить на микроконтроллер, нужно убедиться в том, что проблема не связана с более простыми вещами. Прежде всего необходимо убедиться в наличии питания и его соответствии номинальному значению. Имеет смысл просмотреть печатную плату на предмет обнаружения обрывов и “закороток”. В качестве последних иногда служат плоды пищеварения известных своей прожорливостью и плодовитостью насекомых. “Закорачивание” может произойти также в клавиатуре. Невозможность запуска может свидетельствовать об отсутствии сигнала блокировки дверцы.

Как уже отмечалось, практически невозможно найти замену неисправному микроконтроллеру. Если он вышел из строя, то у вас имеется два выхода: выбросить блок управления или попы-

таться его исправить. Первое быстрее. Сразу отметим, что применительно к печам российского производства ("Берегиня", "Электроника-25" и т.д.), в которых контроллер выполнен на основе однокристальной микроЭВМ общего назначения с внешним ПЗУ, подобная дилемма возникает при неисправном ПЗУ. В некоторых печах (например, "Gold Star") вышедший из строя микроконтроллер иногда можно искусственно реанимировать, но такое случается относительно редко. Теоретически возможно поставить универсальный программируемый микроконтроллер вместо сломанного. Для этого, например, может сгодиться программируемая однокристальная микроЭВМ семейства МК51 (российский аналог КМ1816ВЕ51). Автору в своей практике приходилось проделывать подобную процедуру, однако рекомендовать ее для массового использования вряд ли целесообразно.

Основная проблема заключается в написании программы, которая должна обеспечивать управление всеми функциями микроволновой печи с учетом особенностей существующей схемы. Даже у специалиста это может отнять от несколько дней, до нескольких недель. Кроме того, для "прошивки" микросхемы требуются компьютер и программатор. Поэтому мы не будем детально останавливаться на этом вопросе: тот, кто чувствует в себе способность справиться с этой задачей, скорее всего, обойдется без авторских рекомендаций, а неспециалисту лучше не добавлять себе головной боли. Легче не ввязываться, чем развязаться.

## 2.5. Прочие элементы микроволновой печи

Термореле предназначены для отключения микроволновой печи при ее перегреве. Внешний вид типичного термореле представлен на рис. 2.46.

Термореле устанавливаются на магнетрон, на внешнюю поверхность камеры и иногда на трансформатор, вентилятор и воздуховод. Изготавливаются на разную температуру отключения (см. табл. 2.4)

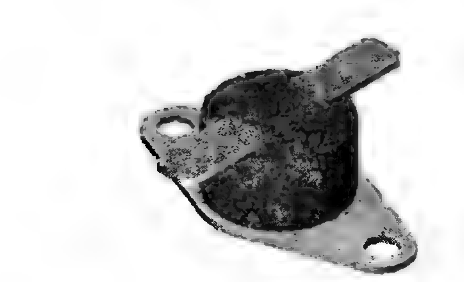


**Рис. 2.46. Термореле**

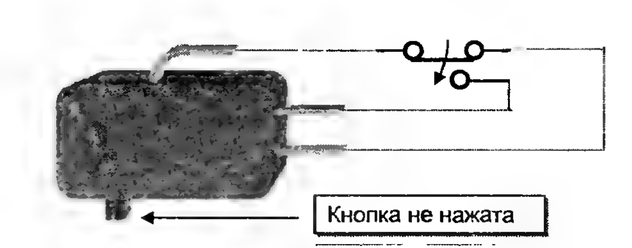



**Рис. 2.47. Микропереключатель**

Отключенное термореле автоматически восстанавливает соединение, после того как его температура снизится до температуры включения. У нормально работающей микроволновой печи магнетрон нагревается до 80 — 100°С, поэтому с учетом некоторого запаса на него устанавливаются термореле с температурой отключения 120 — 160°С.

Микропереключатели используются для блокировки дверцы и в некоторых случаях в качестве компонентов кнопки запуска и регулятора мощности в таймере. Внешний вид и назначение контактов показаны на рис. 2.47.

Вентиляторы служат для охлаждения магнетрона. При мощности последнего 750 — 850 Вт, они должны обеспечивать плотность воздушного потока 1 м$^3$/мин. В некоторых печах воздушный поток от вентиляторов осуществляет также вращение диссектора.

Гриль представляет собой инфракрасный излучатель, выполненный в виде мощного нагревательного элемента, заключенного в керамические цилиндры или металлическую оболочку специ-

Таблица 2.4

| Тип | Температура отключения | Погрешность ±°С. | Температура включения | Погрешность ±°С. |
|---|---|---|---|---|
| BTL-30 | 30 | 3 | 15 | 6 |
| BTL-40 | 40 | 3 | 25 | 6 |
| BTL-50 | 50 | 3 | 35 | 6 |
| BTL-60 | 60 | 3 | 45 | 6 |
| BTL-70 | 70 | 3 | 55 | 6 |
| BTL-80 | 80 | 3 | 65 | 6 |
| BTL-90 | 90 | 3 | 75 | 6 |
| BTL-100 | 100 | 4 | 80 | 7 |
| BTL-110 | 110 | 4 | 90 | 7 |
| BTL-120 | 120 | 4 | 98 | 7 |
| BTL-130 | 130 | 4 | 110 | 8 |
| BTL-140 | 140 | 4 | 115 | 8 |
| BTL-150 | 150 | 7 | 120 | 8 |
| BTL-160 | 160 | 7 | 130 | 8 |

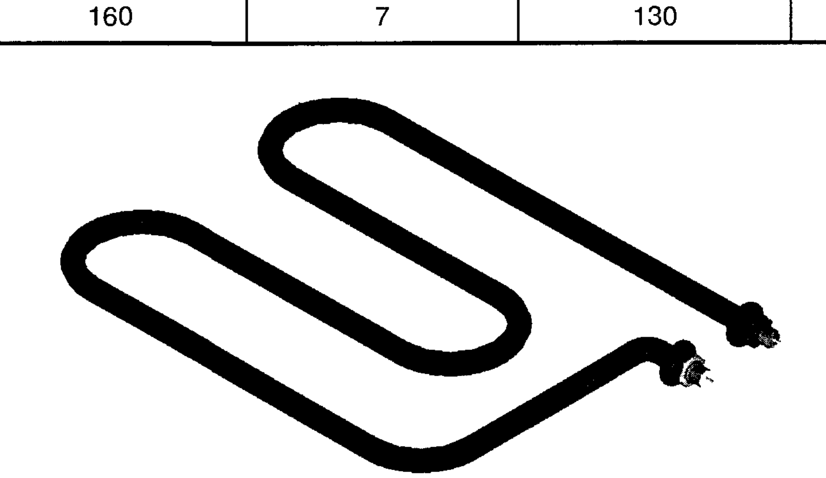


**Рис. 2.48. Гриль**

альной формы (рис. 2.48). Потребляя примерно такую же мощность, что и магнетрон, гриль медленнее нагревает продукт, за счет инерционности и более низкого КПД. Однако в отличие от микроволн, нагревающих продукт изнутри, гриль производит нагрев снаружи, образуя на нем корочку. Сочетание гриля с микроволновым излучением позволяет достичь хорошего качества и привычного внешнего вида приготовляемого продукта за короткое время. Гриль является одним из самых надежных элементов микроволновой печи. В практике автора не встречалось случая, когда бы требовалась его замена.

Конвектор встречается в наиболее дорогих моделях микроволновых печей. Принцип его действия аналогичен тому, который применен в недавно появившихся конвекционных печах. Специальный вентилятор осуществляет циркуляцию воздуха внутри камеры с одновременным его подогревом. Для этого в задней стенке камеры имеется ряд неизлучающих отверстий. Замкнутое

пространство камеры приводит к тому, что воздух в ней за счет постоянного подогрева может достигать температуры более 200°С. Образно говоря, конвектор — это плод любви электрофена и кастрюли. Печи с конвектором обычно имеют датчик температуры. Когда воздух в камере нагревается до заданного значения, нагревательный элемент отключается, а вентилятор продолжает работать. При остывании воздуха нагреватель включается вновь. Конструкция микроволновой печи со встроенным конвектором схематично показана на рис. 2.49.

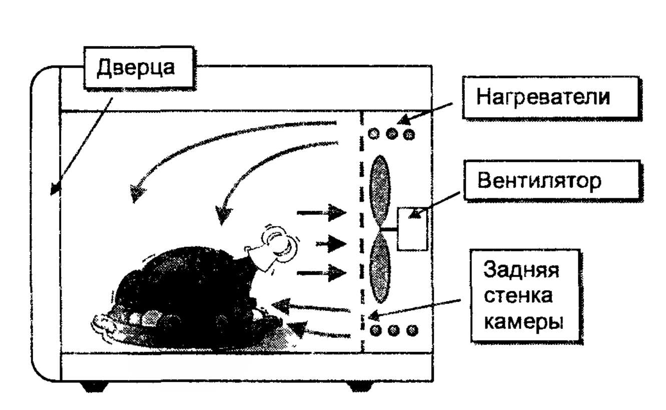



**Рис. 2.49. Устройство конвектора микроволновой печи**

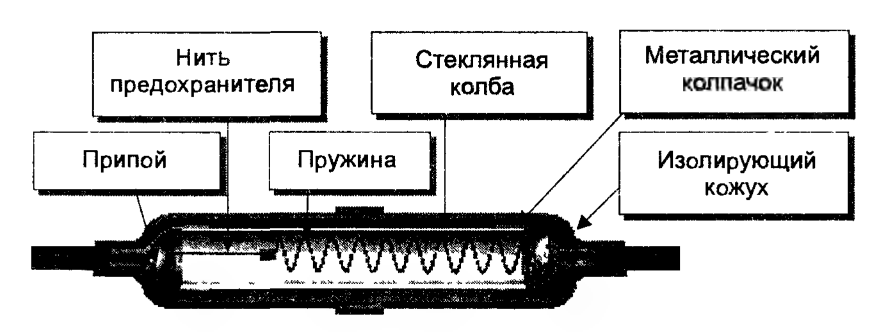



**Рис. 2.50. Устройство высоковольтного предохранителя**

Высоковольтный предохранитель предназначен для защиты трансформатора от перегрузки. Его конструкция показана на рис. 2.50.

Восстановление перегоревшего предохранителя особой трудности не представляет. Для этого достаточно вместо сгоревшей нити подпаять отрезок медного провода диаметром около 0.1 мм. Трудности могут появиться при попытке снять металлический колпачок со стеклянной трубки. Это можно сделать, только если колпачок предварительно хорошо разогреть паяльником.

## 2.6. Перспективы развития микроволновых печей

Название этой главы вводит в искушение заняться предсказаниями, причислив себя к бесчисленному отряду ясновидящих. Удобнее всего предрекать, что будет лет через сто, поскольку, к тому времени как выяснится абсурдность измышлений предсказателя, не будет ни его самого, ни тех, кто имел глупость ему внимать. Однако столь отдаленные перспективы применительно к микроволновым печам вряд ли заинтересуют читателя. В то же время предсказание ближайшего будущего таит в себе опасность быть уличенным в шарлатанстве. Чтобы избежать подобных обвинений, автор решил сомнительных гипотез не строить, а привести некоторые разработки, которые уже реально существуют, но пока не нашли широкого распространения.

Дальнейшее совершенствование микроволновых печей основано на сочетании микроволн с другими способами обработки продуктов и на более эффективном использовании микроконтроллера. В настоящее время его возможности реализуются в лучшем случае процентов на десять. Фактически микроконтроллер выполняет в основном функцию электронного таймера, с чем до этого прекрасно справлялся и механический таймер. Основное ограничение на эффективное использование микроконтроллера вызвано отсутствием обратной связи при работе печи. Не зная о текущем

состоянии продукта, программа, содержащаяся в ПЗУ, не может полностью обеспечить качественного приготовления, так как она составлена в расчете на определенный состав и вес продукта, которые не всегда точно выдерживаются. Даже температура окружающей среды в какой-то мере может требовать корректив в режиме приготовления пищи.

Хозяйка, стоящая у плиты, ориентируется не столько на время и потребляемую плитой мощность, сколько на вкус, запах и цвет. Когда мясо на сковороде начнет пригорать, умелая хозяйка снимет его с плиты, даже если по рецепту это требуется сделать только через 10 минут. Таким образом, осуществляется обратная связь в процессе приготовления. Микроволновая печь дыма не чувствует и в аналогичной ситуации будет действовать строго по программе, т.е. до полного испепеления. При этом подразумевается, что сама программа полностью корректна. Но, как гласит один из законов Мэрфи, если бы строители так строили, как некоторые программисты пишут программы, первый же залетевший дятел разрушил бы цивилизацию. Отсюда вывод: для гарантированного качества приготовляемого продукта, требуется наличие датчиков обратной связи.

Разумеется, вкус, запах и цвет у микроконтроллера никаких эмоций вызывать не будут. Более того, не существует и датчиков реагирующих на эти параметры. Однако можно обнаружить косвенные изменения, происходящие в процессе приготовления пищи, которые могут быть преобразованы в электрические сигналы. А с ними микроконтроллер уже способен разобраться основательно. Следует подчеркнуть, что использование косвенных измерений совсем не означает получение сомнительных результатов. Иногда косвенные методы даже более объективны, чем прямые. Вспомните полиграф, или "детектор лжи", состоящий на государственной службе в США. Если какой-нибудь чиновник Госдепартамента, утверждая, что он свою американскую Родину любит больше, чем деньги, провалится на полиграфе, его уволят. Несмотря на ясные и чистые глаза, внушающие доверие начальству. Таким образом, признается, что выводы полиграфа, основанные на измерении косвенных параметров, приближают к истине быстрее, чем анализ путаных ответов на каверзные вопросы проницательных агентов ФБР.

В настоящее время существуют датчики, которые позволяют в процессе приготовления продукта измерять следующие параметры: температуру продукта, температуру в камере, вес продукта, начало парообразования, абсолютную и относительную влажность в камере. Рассмотрим более подробно конструкцию, принцип действия и методы использования каждого из перечисленных датчиков.

### *Датчики температуры*

Датчики температуры могут быть двух типов: с использованием термопары и с использованием терморезистора. В первом случае измерения основаны на контактной разности потенциалов, возникающей при соединении разных металлов. Физическая природа этого явления состоит в том, что кинетическая энергия электронов в разных металлах различна. Поэтому при соприкосновении разнородных металлов электроны из металла с большей энергией перетекают в металл с меньшей энергией. В результате в первом металле образуется недостаток электронов, и он заряжается положительно, во втором образуется их избыток и он заряжается отрицательно. Контактная разность потенциалов может составлять от сотых долей вольта до нескольких вольт, в зависимости от выбранной пары металлов.

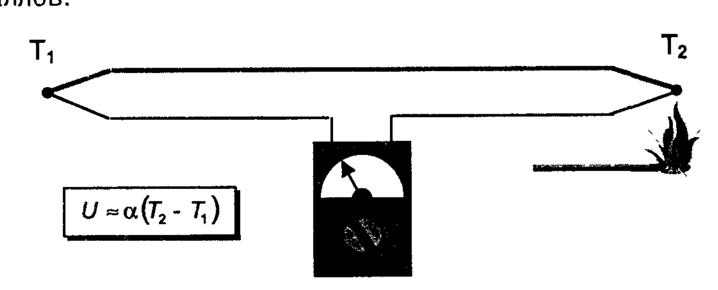



**Рис. 2.51. Измерение температуры с помощью термопары**

Термопара представляет собой два проводника из специально подобранной пары металлов (например, никель — железо), образующих замкнутую цепь (рис. 2.51).

При различной температуре контактов в замкнутой цепи возникает ток, называемый термоэлектрическим. Если цепь разорвать в произвольном месте, то на концах появится разность потенциалов, пропорциональная разности температур. Для точных измерений необходимо стабилизировать температуру одного из спаев, а второй приложить к измеряемому объекту.

Терморезистор представляет собой полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от температуры. На рис. 2.52. показана типичная зависимость сопротивления терморезистора от температуры.

Если терморезистор имеет хороший тепловой контакт с измеряемым объектом, то температуру последнего можно определить, измерив сопротивление резистора.

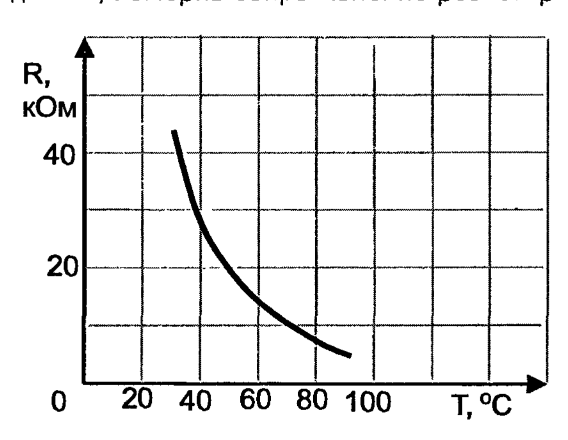



**Рис. 2.52. Зависимость сопротивления терморезистора от температуры**

Термодатчики используются для измерения температуры в камере и поддержания заданного теплового режима. Обычно они представляют собой металлическую капсулу с двумя выводами, устанавливаемую внутри камеры на одной из ее стенок, причем выводы находятся с внешней стороны камеры. Такая конструкция исключает влияние микроволнового излучения на показания датчика. Имеются термодатчики в виде щупа, втыкаемого непосредственно в приготавливаемый продукт. Это позволяет более точно отслеживать температуру внутри продукта.

### *Датчики веса*

Датчик веса автоматически определяет вес продукта, помещенного в камеру, что позволяет микроконтроллеру более точно выбрать требуемый режим приготовления пищи. Наиболее актуально использование датчиков веса в полупромышленных установках для микроволновой сушки, позволяющих точно измерить количество испаренной влаги.

Измерение веса интересовало людей всегда, поэтому со времен построения египетских пирамид и до наших дней создано большое количество соответствующих устройств, использующих разные физические явления. Рассмотрим два способа измерения веса, которые к настоящему времени реально воплощены в производимых печах и установках.

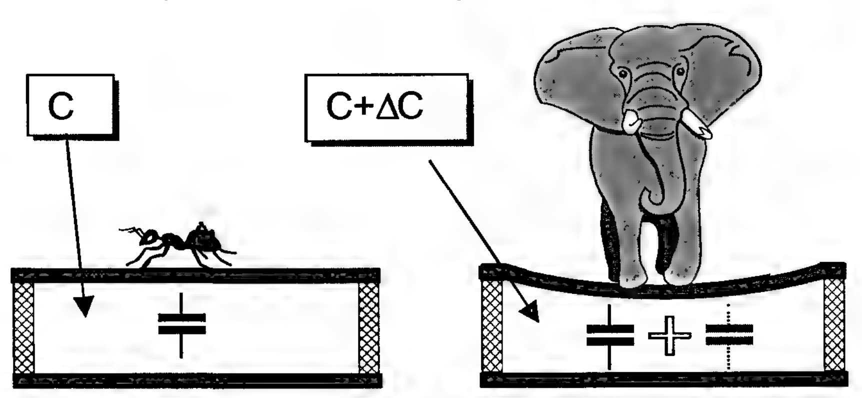



**Рис. 2.53. Принцип действия емкостного датчика веса**

На рис. 2.53. показан принцип действия емкостного датчика веса. Он выполнен из двух металлических пластин, разделенных изолятором, причем верхняя пластина может быть днищем камеры. Пластины образуют конденсатор, емкость которого измеряется специальной электронной схемой. Продукт, помещаемый в камеру, прогибает ее днище и тем самым увеличивает емкость конденсатора. Программа, содержащаяся в ПЗУ микроконтроллера, позволяет по изменению емкости определить вес помещенного продукта. Конструктивно иногда целесообразнее верхнюю пластину и днище камеры не делать едиными, а соединить их с помощью рычажного механизма.

Датчик веса на основе тензорезистивного эффекта показан на рис. 2.54.

Тензорезистивным эффектом называется явление изменения сопротивления полупроводников при одноосной деформации (растяжении или сжатии). Деформация кристаллической решетки полупроводника проявляется в изменении расстояния между атомами. При этом изменяется энергия электронов, часть из них переходит на более высокий энергетический уровень, возрастает число электронов проводимости, увеличивается их подвижность в электрическом поле. Поскольку концентрация свободных электронов в полупроводнике относительно невелика, небольшое ее изменение, вызванное деформацией кристаллической решетки, приводит к заметному изменению электропроводности.

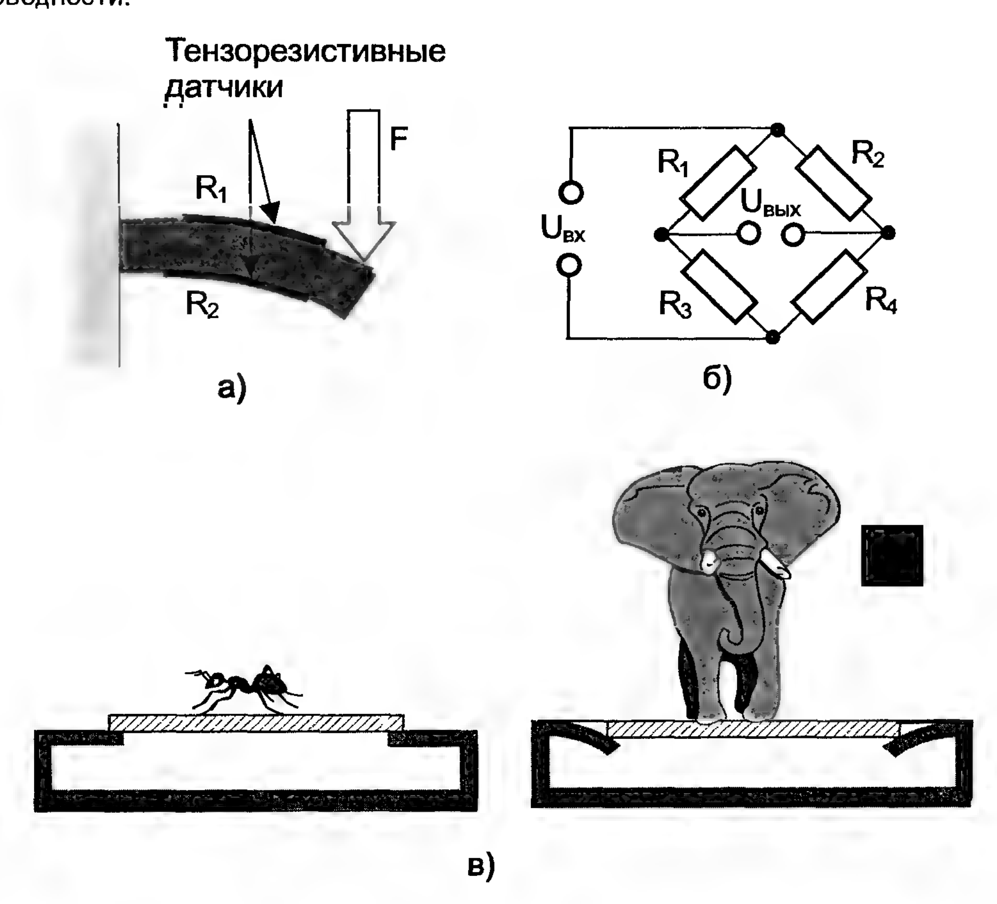



**Рис. 2.54. Принцип действия тензорезистивного датчика веса**

Конструктивно тензорезистивный датчик представляет собой пленку, на которую в виде тонких полос нанесен полупроводниковый материал. Пленка наклеивается на деталь, подвергаемую изгибу в процессе взвешивания (рис. 2.54а). Поскольку проводимость полупроводников в значительной степени зависит от температуры, то для повышения точности и стабильности показаний тензодатчики включаются по мостовой схеме (рис. 2.54б). При отсутствии измеряемого веса сопротивление каждого из плеч моста одинаково, поэтому выходное напряжение равно нулю. Появление нагрузки приводит к изгибу кронштейнов, на которые наклеены датчики. В результате верхний датчик растягивается, т.е. сопротивление R1 увеличивается, а нижний датчик сжимается, и, соответственно, R2 уменьшается. Между плечами моста появляется напряжение $U_{вых}$, зависящее от веса нагрузки. Поскольку температура на оба датчика действует одинаково, то можно считать, что нагрев или охлаждение окружающей среды практически не влияет на значение $U_{вых}$.

### *Датчик пара*

Изменение температуры некоторых диэлектриков приводит к их поляризации. Если пластину из такого диэлектрика подвергать нагреву или охлаждению, то на ее противоположных сторонах появляются разноименные заряды. Если на обе стороны пластины нанести электроды и замкнуть их с помощью проводника, то в нем возникнет электрический ток, который будет продолжаться до тех пор, пока не прекратится изменение температуры. Это явление называется пироэлектрическим эффектом. На его использовании основан датчик пара, применяемый в некоторых микроволновых печах.

Конструкция датчика показана на рис. 2.55.

Пироэлектрический материал заключен между двумя электродами и одной стороной приклеен к металлическому основанию с целью повышения механической прочности. Датчик устанавливается на патрубок, через который пар удаляется из печи (рис. 2.56).

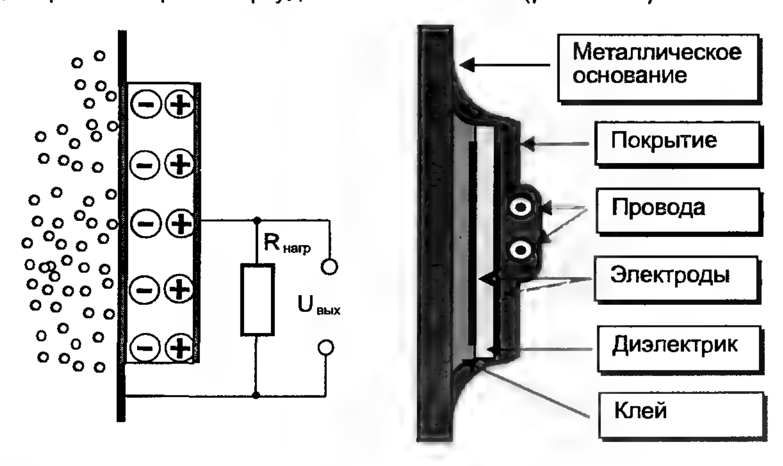



**Рис. 2.55. Принцип действия и внутреннее устройство датчика пара**

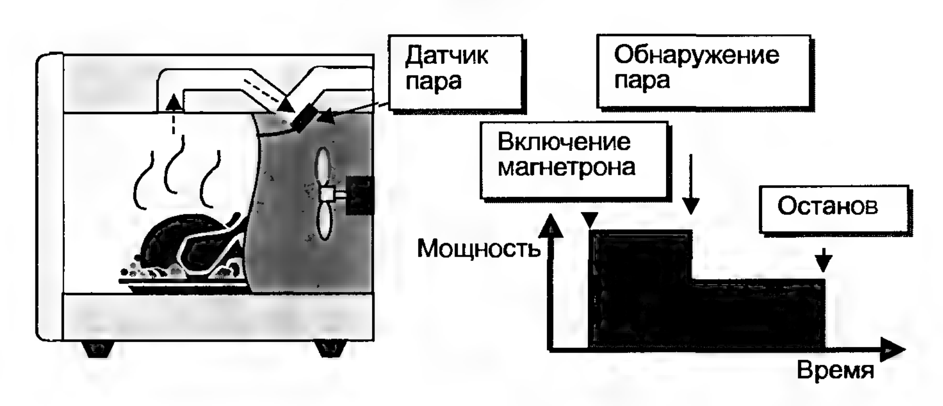



**Рис. 2.56. Установка датчика пара в микроволновой печи**

В момент начала парообразования будет происходить конденсация пара на относительно холодных деталях патрубка, в результате чего температура установленного на нем датчика резко возрастет. На выводах датчика появится разность потенциалов, которая будет воспринята микроконтроллером. По времени, прошедшему с момента включения магнетрона до начала парообразования, микроконтроллер вычисляет параметры загруженного продукта и определяет время и режим его дальнейшего приготовления. С внешней стороны датчик охлаждается вентилятором, поэтому снижение парового потока приведет к быстрому остыванию датчика, что может быть использовано для корректировки режима.

Применение датчика пара или рассмотренных ниже датчиков влажности позволяет осуществлять автоматическое приготовление пищи, без установки таймера и режима приготовления вручную.

## *Датчики влажности*

Существуют понятия “абсолютная влажность” и “относительная влажность”. Прежде чем приступить к рассмотрению конкретных датчиков, имеет смысл определиться, что есть что.

Термин “относительная влажность” обычно применяется для обозначения уровня влажности в сообщениях о погоде. Он характеризует процентное соотношение между текущим количеством пара в воздухе и его количестве при насыщении, т.е. максимально возможном его количестве при данной температуре.

При насыщении дальнейшее парообразование приводит к конденсации влаги и ее выпадению в виде осадков. Поскольку уровень насыщения зависит от температуры, то и относительная влажность меняется при ее колебаниях.

Абсолютная влажность показывает вес паров воды, содержащихся в одном кубометре воздуха, поэтому ее значение не зависит ни от температуры, ни от чего-либо еще.

С точки зрения приготовления продукта, работа датчиков влажности аналогична рассмотренному ранее датчику пара. Основные отличия состоят в лишь в механизме регистрации пара. Конструкция датчика относительной влажности показана на рис. 2.57.

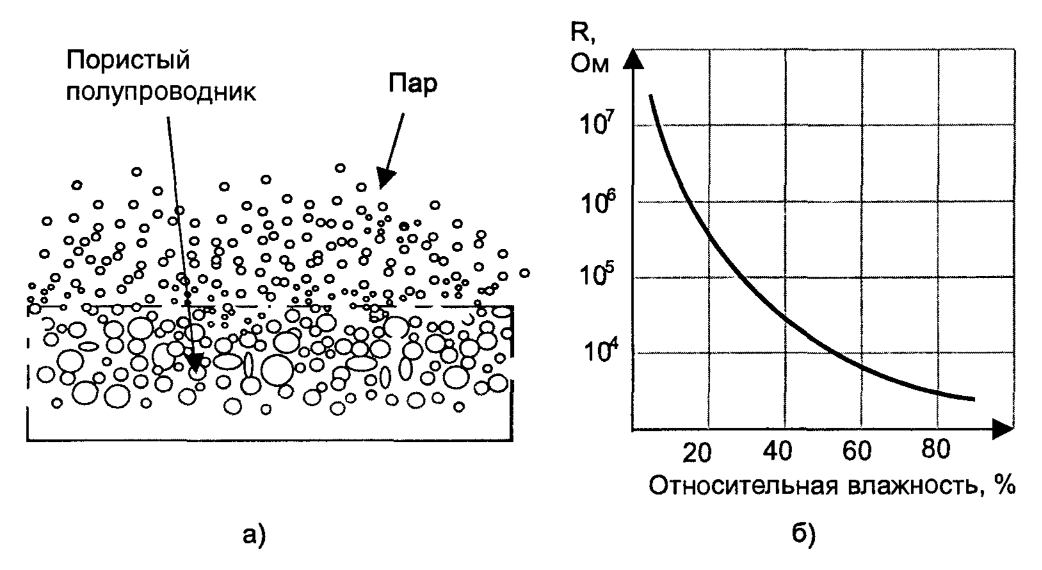



**Рис. 2.57. Принцип действия датчика относительной влажности**

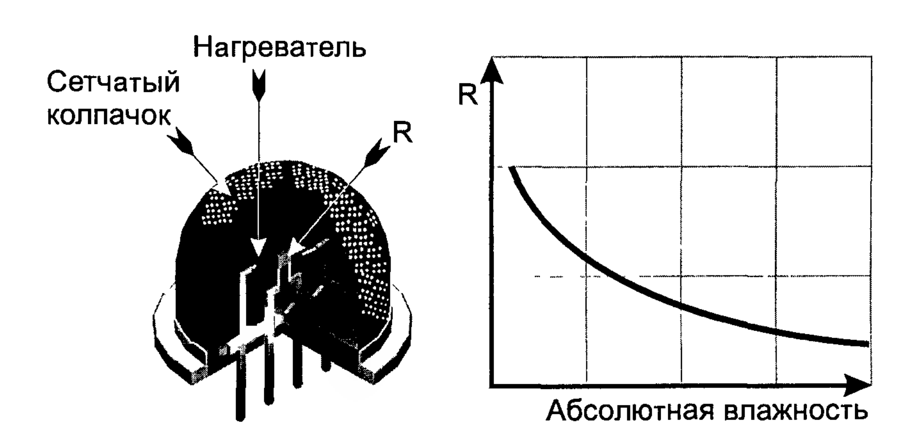



**Рис. 2.58. Датчик абсолютной влажности**

Чувствительный элемент датчика изготовлен из пористого керамического полупроводника ($MgCrO_4$-$TiO_2$). При нагреве продукта выделяющийся пар попадает в поры данного материала и изменяет его сопротивление. Повышение точности измерений достигается за счет совместного использования датчиков влажности и температуры. Датчик влажности расположен вблизи вытяжного отверстия, через которое происходит выпуск выделяемого продуктами пара вместе с циркулирующим воздухом. Это означает, что на чувствительный элемент датчика могут попадать брызги пищи, масло, соль и т.п., приводящие к снижению точности измерений. Чтобы не допустить этого, вокруг чувствительного элемента помещается нагревательная катушка, предназначенная для его обжига и очистки. Максимальная температура нагревательной катушки достигает приблизительно 600°С. Она включается на 30 — 60 секунд перед началом и в конце приготовления пищи.

Устройство датчика абсолютной влажности отличается от предыдущей конструкции наличием нагревателя, на который помещен датчик и сетчатого колпачка, который предохраняет его от загрязнения. Внешний вид датчика абсолютной влажности представлен на рис. 2.58.

Кроме использования датчиков обратной связи, повышение качества приготовления пищи достигается за счет сочетания микроволнового нагрева с другими способами обработки продуктов. В настоящее время наиболее часто микроволны объединяются с грилем и конвектором. Иногда в дополнение к этому используется ультрафиолетовый излучатель, представляющий собой кварце-

вую лампу наподобие той, что применяется для искусственного загара. Загар в данном случае предназначен для микробов, но этот дармовой солярий здоровья им вовсе не прибавляет, а совсем даже наоборот.

Некоторые полупромышленные установки наряду с микроволновым излучением используют частичное вакуумирование. Наиболее эффективно такое сочетание действует при сушке продуктов, поэтому не исключена возможность, что в ближайшем будущем и некоторые бытовые печи будут оснащены вакуумными системами.

Принцип действия микроволновых вакуумных сушильных установок основан на зависимости температуры кипения от давления (рис. 2.59).

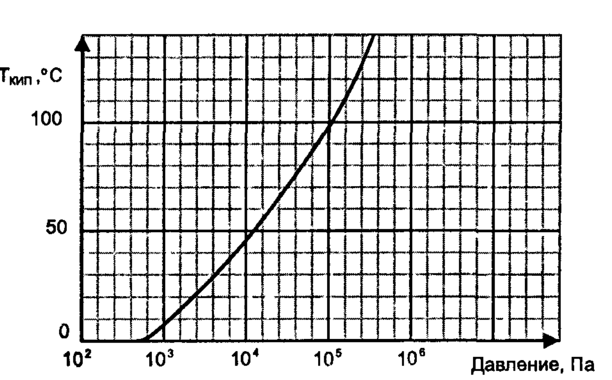



**Рис. 2.59. Зависимость температуры кипения воды от давления**

При пониженном давлении вода начинает закипать при температуре менее 100°С (для справки: нормальное атмосферное давление на уровне моря примерно равно $10^5$ Па). С этим хорошо знакомы жители высокогорий и альпинисты. Можно часами варить мясо в открытом котпе, и все равно оно останется наполовину сырым. Однако при сушке такое поведение воды обладает существенными преимуществами. Для качественной сушки пищевых продуктов их температура не должна превышать 70°С. Лекарственные травы и коренья сушатся при еще более низкой температуре (примерно 40°С). При этом в продуктах сохраняется большинство витаминов, а лекарственные растения не теряют своих лечебных свойств. Если требуется высушивать большое количество продукта, необходимо повышать интенсивность процесса сушки. Для этого существует только один способ — это дополнительный подогрев и вентиляция.

В обычных условиях мощность, затрачиваемая на эти цели, ограничивается опасностью перегрева. Однако при наличии соответствующего вакуума интенсивность сушки практически ничем не ограничена. Пока в продукте присутствует влага, его температура не превысит температуры кипения и подводимая мощность будет расходоваться не на нагрев продукта, а на испарение влаги, т.е. на сушку. Причем из всех существующих способов подвода тепла к продукту использование микроволн наиболее эффективно. Это обусловлено несколькими причинами, главные из которых заключаются в бесконтактном способе передачи тепла, равномерном нагреве продукта со всех сторон, высоком к.п.д. и преимущественном нагреве продукта изнутри. Последнее обстоятельство выгодно отличает микроволновый нагрев от инфракрасного, при котором в первую очередь высыхают поверхностные слои, препятствуя дальнейшей сушке.

Кроме бытовых микроволновых печей микроволновый нагрев применяется во многих отраслях промышленного производства. Наибольшее распространение получили установки, в которых микроволновая энергия используется для сушки различного рода диэлектрических материалов (например, древесины).

Некоторые промышленные и полупромышленные установки, в сущности, мало чем отличаются от обычной микроволновой печи, поскольку состоят из тех же элементов, а увеличение мощности достигается за счет модульной конструкции, при которой вместо одного генератора используется несколько. Имеются установки, в которых одновременно работает несколько десятков магнетронов того же типа, что и в микроволновой печи. Несмотря на то что существуют генераторы СВЧ с выходной мощностью в сотни киловатт, во многих случаях вместо одного такого прибора целесообразнее использовать несколько менее мощных генераторов. Причин этому несколько. Во-первых, это более выгодно с экономической точки зрения. Компоненты для микроволновых печей выпускаются в большом количестве, поэтому их стоимость ниже, а технические характеристики, такие, как к.п.д., долговечность, надежность и т.д., выше. Во-вторых, использова-

ние нескольких генераторов, в общем случае, обеспечивает более равномерный нагрев. В-третьих, снижается вероятность электрических пробоев. Имеются и другие причины, по которым модульный вариант на основе компонентов микроволновой печи оказывается более предпочтительным. Отсюда следует, что при ремонте подобных установок в полной мере могут быть использованы те же методы, что и при ремонте микроволновых печей.

## 2.7. Разборка микроволновой печи

Чтобы добраться до внутренностей микроволновой печи, прежде всего необходимо снять кожух. Для этого нужно отвернуть крепящие его винты, расположенные с тыльной стороны печи и иногда снизу (рис. 2.60).

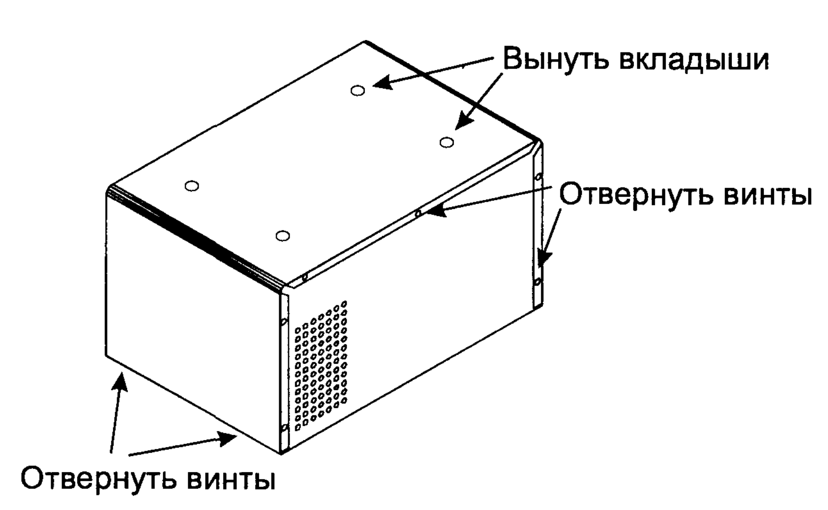



**Рис. 2.60. Снятие кожуха микроволновой печи**

Некоторые печи предусматривают их крепление в подвесном состоянии. Для этого в кожухе, сверху, имеются специальные отверстия. Чтобы указанные отверстия не портили внешний вид печи в настольном положении, их затыкают пластмассовыми вкладышами. При снятии кожуха вкладыши предварительно нужно вынуть.

Детали микроволновой печи соединены с помощью разъемов, некоторые из которых имеют защелку, повышающую надежность контакта. Чтобы разъединить такой разъем, нужно отжать защелку, нажав на имеющийся выступ.

Чтобы заменить микродвигатель вращения поддона, снятие кожуха не требуется. Для этого нужно предварительно снять крышку с нижней стороны печи. Очень часто такая крышка изготавливается методом штамповки совместно с днищем. Для ее снятия требуется перекусить перемычки, соединяющие указанные детали. После завершения ремонта крышка переворачивается и крепится имеющимся в днище винтом.

При снятии магнетрона предварительно требуется снять воздуховод. В некоторых моделях для этого нужно снять также и трансформатор.

Для снятия блока управления необходимо отсоединить все разъемы и отвернуть крепежные винты. В некоторых печах (например, “Moulinex”) часть винтов может находиться с лицевой стороны, под ручками управления или под декоративной пленкой.

## 2.8. Электрические схемы микроволновых печей

Микроволновые печи с электромеханическим управлением обычно имеют стандартную электрическую схему. Отличия между различными моделями незначительны и не носят принципиального характера.

Силовая часть печей с электронными блоками управления практически не отличается от печей с электромеханическим управлением. На принципиальной схеме эти отличия проявляются лишь в том, что вместо контактов таймера присутствуют контакты реле. Иногда вместо реле ставится симистор, однако режим его работы фактически тот же, что и у таймера. Такая взаимозаме-

няемость блоков управления позволяет, в частности, вдыхать новую жизнь в печи с напрочь сгоревшей электроникой путем замены электронного блока управления на электромеханический или на электронный, но от другой модели. Ограничения на подобную замену связаны, в основном, с габаритными размерами, особенностями крепежа и конструкцией механизма открытия дверцы.

В качестве примера рассмотрим схему микроволновой печи "Samsung RE290D", изображенной на рис. 2.61.

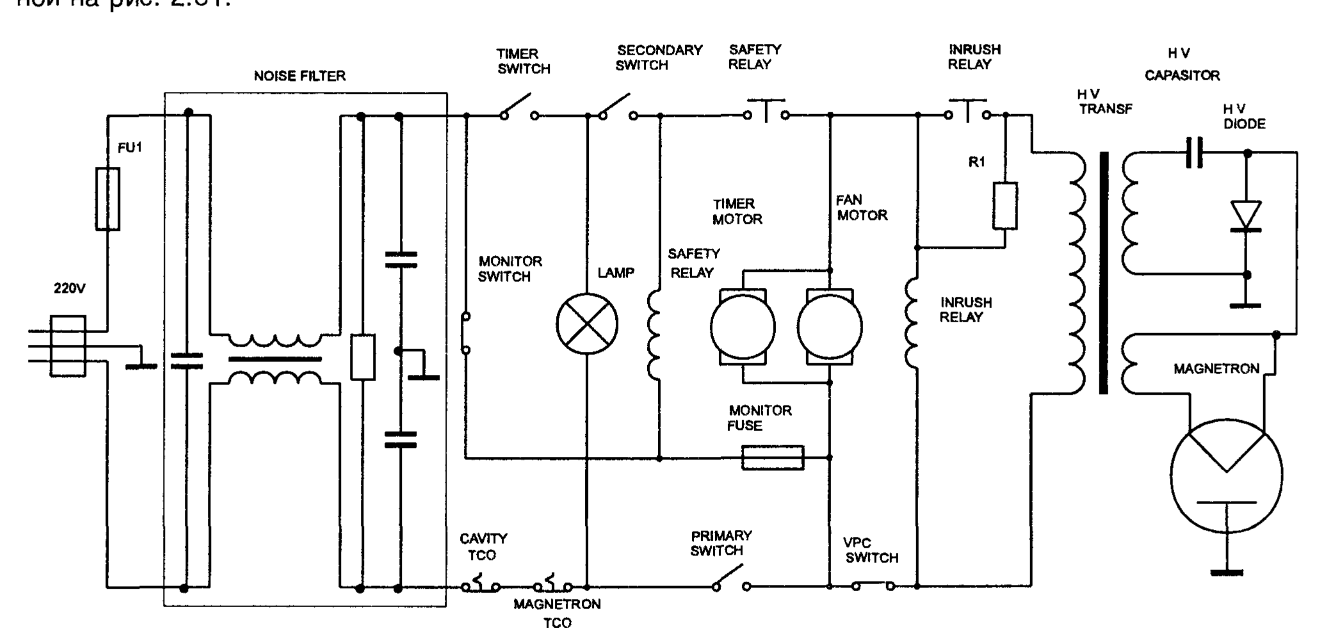



**Рис. 2.61. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Samsung RE290D"**

Чтобы включить СВЧ нагрев, требуется подать напряжение 220 В на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Это будет происходить, если контакты микропереключателя "Monitor switch" (MS) разомкнуты, а контакты всех остальных элементов цепи замкнуты. Рассмотрим условия, при которых устанавливается требуемое состояние контактов.

Термореле "cavity TCO" и "magnetron TCO" замкнуты, если температура камеры и магнетрона не превышает допустимой температуры.

Микропереключатели "primary switch" (PS) и "secondary switch" (SS) осуществляют блокировку включения магнетрона при открытой дверце и замыкаются при ее закрытии. На рисунке состояние микропереключателей соответствует открытой дверце.

Включение микроволновой печи происходит при установке ручки таймера на заданное время. При этом замыкаются контакты "timer switch" (TS), находящиеся внутри таймера. На обмотку страхующего реле "safety relay" начинает поступать напряжение, и его контакты замыкаются. В результате включаются электродвигатели таймера и вентилятора, а на трансформатор через сопротивление "resistor" подается напряжение.

Микропереключатель "monitor switch" контролирует исправную работу элементов блокировки дверцы. Если по какой-либо причине микропереключатели PS и SS перестанут размыкаться, то попытка включить печь с открытой дверцей приведет к перегоранию предохранителя "monitor fuse". Вследствие этого включение реле SR станет невозможным, и генерации СВЧ мощности не произойдет. Следует обратить внимание, что для согласованной работы микропереключатель PS должен замыкаться позже, а размыкаться раньше, чем, соответственно, разомкнутся и замкнутся контакты MS. Нарушение этого синхронизма приведет к тому, что контакты PS замкнутся до того, как разомкнется MS, или наоборот, контакты MS замкнутся раньше, чем разомкнется PS. В обоих случаях это приведет к кратковременному короткому замыканию по входу с последующим перегоранием предохранителя. К сожалению, подобный асинхронизм в работе микропереключателей явление нередкое, поэтому, если в микроволновой печи без всяких видимых причин при закрытии или открывании дверцы горят предохранители, проблема, скорее всего, именно в несогласованной работе микропереключателей.

Резистор R1 служит для снижения пускового тока и работает лишь несколько миллисекунд в процессе каждого включения, до тех пор пока не сработает реле "inrush relay", напряжение на ко-

торое подается одновременно с началом прохождения тока через резистор. Необходимость сопротивления вызвана тем, что в начальный момент, высоковольтный конденсатор разряжен и в положительный полупериод, когда на диод подано прямое смещение, вторичная обмотка трансформатора оказывается замкнута “накоротко”. В результате, при включении печи, происходит резкий бросок тока и она вздрагивает как от испуга, передавая свое душевное состояние окружающим. Сопротивление позволяет ограничить пусковой ток на некоторое время, в течение которого конденсатор постепенно заряжается до номинального значения и печь плавно входит в рабочий режим. В настоящее время большинство развитых стран имеют стандарты, ограничивающие величину пускового тока, поэтому рассматриваемые элементы становятся обязательным атрибутом микроволновых печей с электромеханическим управлением.

Микропереключатель “VPS switch”, установленный на таймере, служит для регулировки мощности. При задании уровня мощности меньше максимального он осуществляет периодическое отключение печи в соответствии с рис. 2.25.

Фильтр “noise filter” служит для снижения радиопомех, проникающих по цепям питания во внешнюю сеть.

Схема содержит также лампу накаливания “lamp” и двигатели таймера “timer motor” и вентилятора “fan motor”, назначение которых не требует комментариев.

В зависимости от модели микроволновой печи, она может не иметь каких-либо рассмотренных компонентов или, наоборот, иметь дополнительные (например, при использовании комбинированных способов нагрева), однако это не вносит существенных изменений в работу электрической схемы.

В отличие от силовой части микроволновых печей, схемы электронных блоков управления имеют гораздо большее разнообразие. Особенно отличаются между собой печи, не имеющие специализированного микроконтроллера, построенные на основе дискретных элементов. Это характерно для первых моделей, которые в настоящий момент не выпускаются, но еще имеются в обиходе. В связи с этим не имеет смысла рассматривать какую-либо из схем в качестве примера. Вместо этого рассмотрим работу некоторых наиболее часто встречающихся узлов и связанные с ними неисправности.

Схема начальной установки (рис. 2.62), предназначена для предварительного сброса в “0” ячеек памяти ОЗУ и установки всех имеющихся в схеме триггеров, счетчиков и т.п. в исходное состояние при подаче напряжения на блок управления.

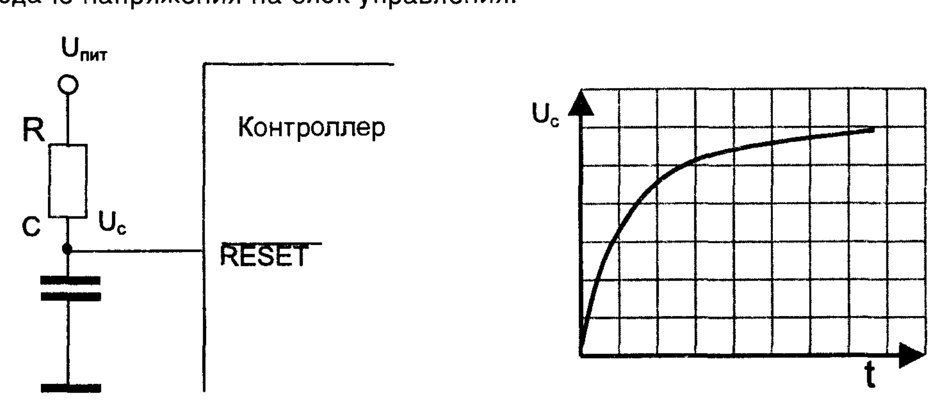



**Рис. 2.62. Схема начальной установки**

В момент включения микроволновой печи в сеть конденсатор C разряжен, поэтому напряжение на нем равно “0” и на вход “RESET” контроллера поступает сигнал сброса. Через короткий промежуток времени конденсатор зарядится через сопротивление R до напряжения питания, сигнал сброса на входе исчезнет и схема будет готова к дальнейшей работе.

Иногда сигнал сброса формируется не только при включении питания, но и при его снятии. Схема устройства, выполняющего данную функцию, показана на рис. 2.63.

Данная схема производит общий сброс и в том случае, если по какой-либо причине напряжение питания на микроконтроллере превысит допустимое.

Генератор тактовых импульсов, как правило, находится внутри микроконтроллера, за исключением источника опорной частоты, в качестве которого обычно используется кварцевый резона-

тор. Схема его подключения и сигналы на входе (BQ1) и выходе (BQ2) каскада усиления показаны на рис. 2.64.

Формирователь сетевых синхроимпульсов предназначен для привязки времени вкпючения и выключения силового источника питания к моменту прохождения амплитуды сетевого напряжения через ноль. Это позволяет предотвратить нежелательные выбросы тока в момент коммутации. Схема формирователя представлена на рис. 2.65.

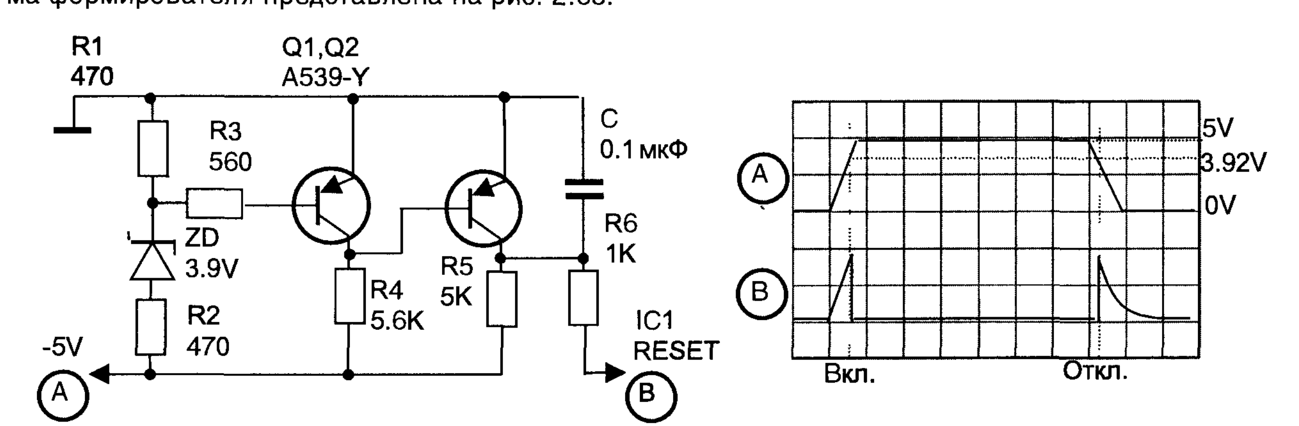



Рис. 2.63. Схема начальной установки и контроля питания

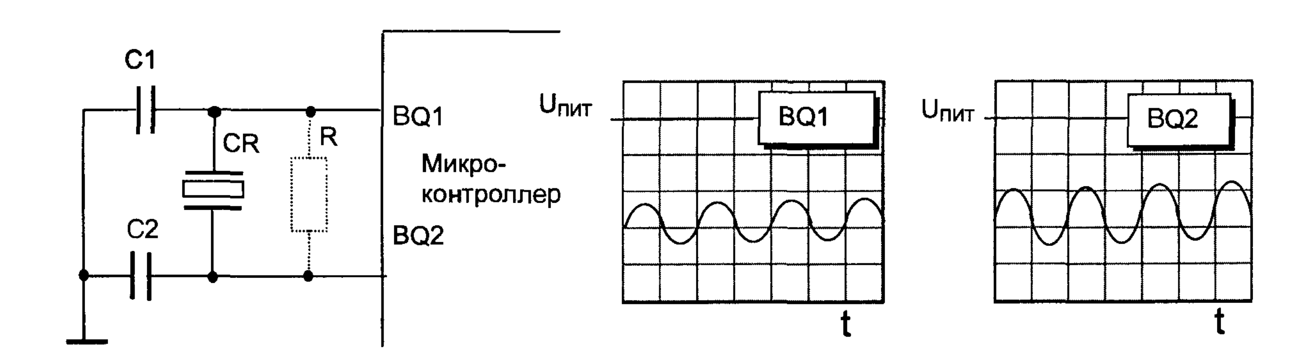



Рис. 2.64. Схема подключения кварцевого резонатора

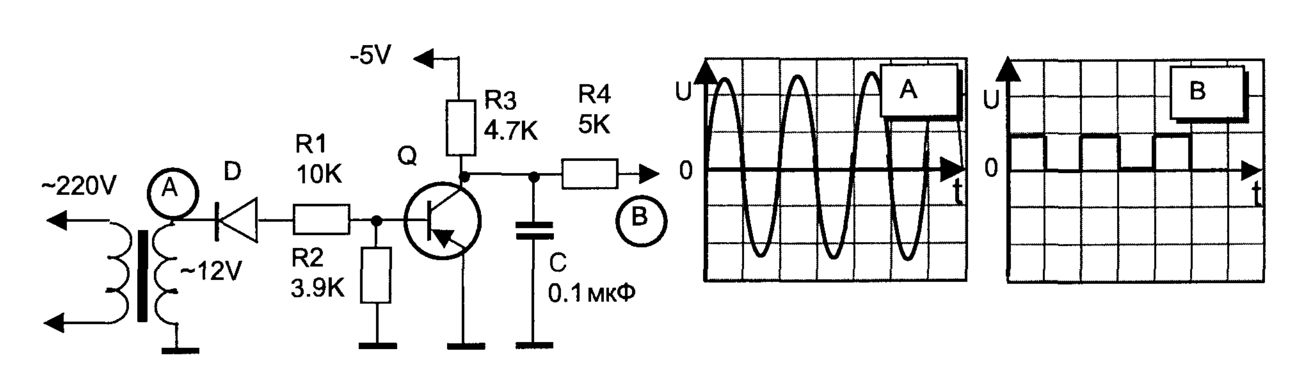



Рис. 2.65. Схема формирователя импульсов

Он представпяет собой транзисторный усилитепь кпючевого типа. В отрицатепьный полупериод транзистор закрыт и напряжение на выходе равно нулю. В положитепьный полупериод транзистор быстро входит в насыщение и амплитуда сигнапа на выходе становится равной напряжению питания транзистора. Изменение выходного напряжения на выходе усилителя воспринимается микроконтролпером как момент перехода сетевого напряжения через нопь.

Коммутация элементов силовой цепи, как правипо, производится посредством репе, установленных на блоке управления. Схема вкпючения репе показана на рис. 2.66.

Особенностью многих схем аналогичного назначения явпяется невозможность включения сиповой цепи (реле RY1) без предварительного вкпючения вентилятора (реле RY2) и при открытой

дверце камеры В рассматриваемом случае это достигается тем, что ток через транзистор Q3, который включает реле RY1, может протекать только при замкнутом микропереключателе "DOOR" и открытом транзисторе Q2, включающем вентилятор, лампу и двигатель столика

Схема формирования импульсов звуковой частоты предназначена для генерации зуммером звукового сигнала. Во многих случаях эта функция выполняется микроконтроллером с помощью программных средств. Однако в некоторых печах микроконтроллер задает только время звучания сигнала, а генератор звуковой частоты выполнен на дискретных элементах В качестве примера рассмотрим рис 2.67.

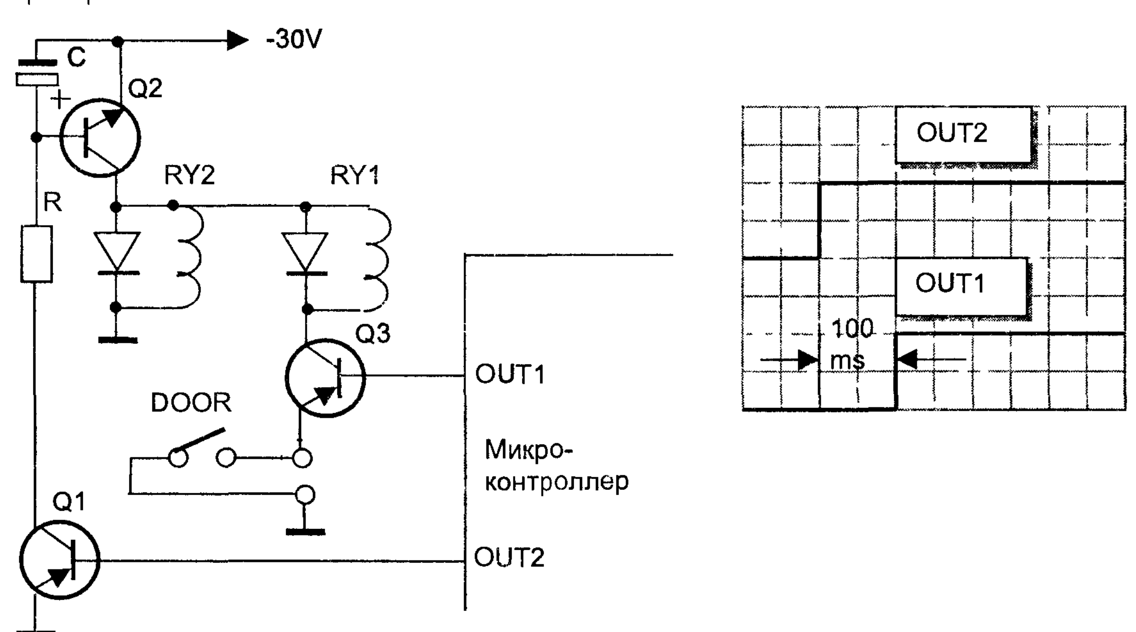



**Рис. 2.66. Схема управления включением реле**

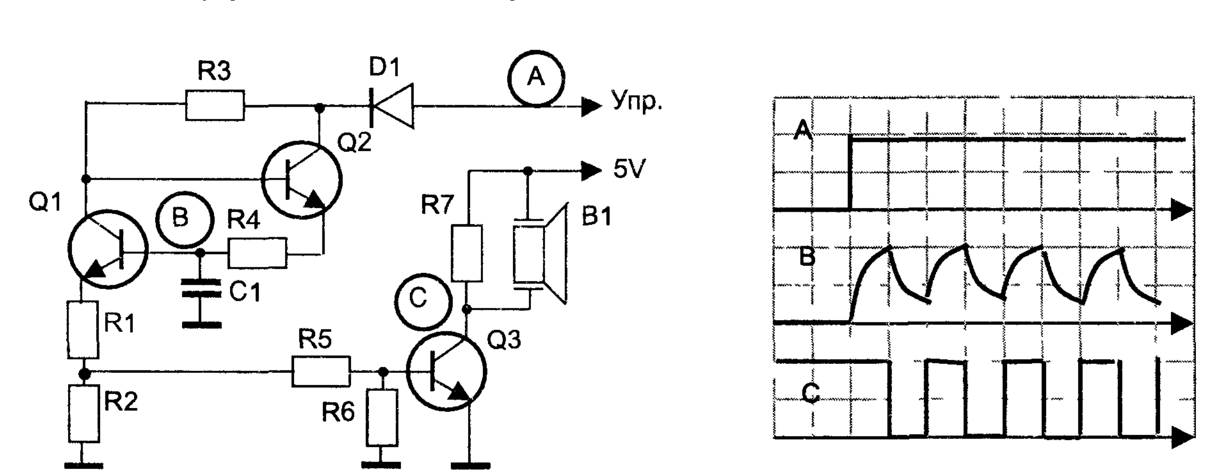



**Рис. 2.67. Схема генератора сигнала звуковой частоты**

Схема состоит из мультивибратора на транзисторах Q1, Q2 и усилителя на транзисторе Q3 При отсутствии управляющего сигнала все транзисторы закрыты При поступлении сигнала управления (+5 В) база транзистора Q2 оказывается под высоким потенциалом и он отпирается Происходит постепенный заряд конденсатора C1 через резистор R4 В какой-то момент напряжение на нем, а соответственно, и на базе транзистора Q1 превысит напряжение отпирания, транзистор Q1 откроется, в результате чего напряжение на базе транзистора Q2 упадет и он закроется Конденсатор начнет разряжаться через сопротивления R1, R2, пока напряжение на нем не упадет до такого значения, при котором закроется транзистор Q1. После этого весь цикл будет повторяться до тех пор, пока не исчезнет управляющий сигнал. В те моменты, когда открыт транзистор Q1, будет открываться и транзистор Q3, в результате чего на вход зуммера будет поступать переменный сигнал звуковой частоты.

Схема контроля питания (рис. 2.68) производит общий сброс микроконтроллера, в том случае, если питающее напряжение на нем превышает допустимый уровень.

Напряжение стабилизации на стабилитроне чуть меньше напряжения питания, поэтому в обычном режиме падение напряжения на резисторе R1 и соответственно на базе транзистора составляет доли вольта. Транзистор закрыт, но находится на грани открытия. Прирост напряжения выше номинального полностью падает на резисторе R1, поэтому даже относительно небольшое увеличение напряжения питания, свидетельствующее о неполадках в схеме стабилизации, приводит к быстрому отпиранию транзистора и формированию сигнала сброса.

Подключение клавиатуры осуществляется в мультиплексном режиме (рис. 2.69).

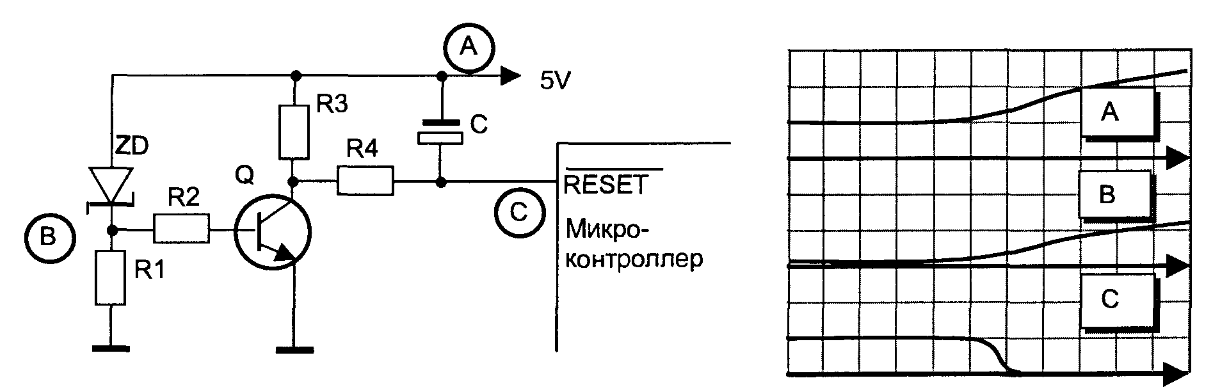



**Рис. 2.68. Схема контроля питания**

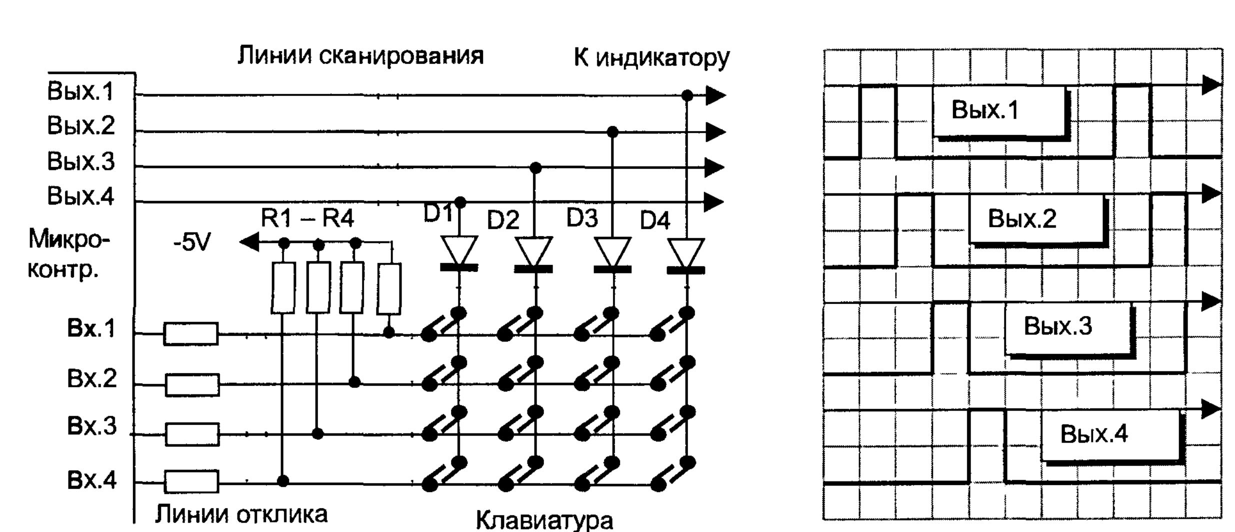



**Рис. 2.69. Схема подключения клавиатуры**

На линии сканирования от микроконтроллера поочередно поступают короткие импульсы, синхронно смещенные относительно друг друга по времени. При нажатии одной из кнопок последовательность импульсов, проходящих по подключенной к ней линии сканирования, поступает на соответствующую ей линию отклика и возвращается обратно в микроконтроллер, на один из его входов. Номер входа, по которому вернулись импульсы, и время их прибытия позволяют микроконтроллеру однозначно определить, какая из кнопок в данный момент нажата. Поскольку подключение клавиатуры во многом аналогично рассмотренному ранее подключению знакосинтезирующих индикаторов, то в обоих случаях можно использовать одни и те же линии сканирования Диоды D1 — D4 служат для предотвращения замыкания выходов микроконтроллера при одновременном нажатии нескольких кнопок. Резисторы R1 — R4 фиксируют состояние логического “0”, если ни одна из кнопок на данной линии отклика не нажата. В рассматриваемом случае активным является низкий уровень напряжения, поэтому резисторы подключены к шине питания “-5 В”.

Источники питания для цепей блока управления, как правило, имеют несколько выходных напряжений. Например, на рис. 2.70 показан источник питания, используемый во многих микроволновых печах компании “Samsung”.

В цепи накапа люминесцентного индикатора используется переменное напряжение 2.5 В. Анодное напряжение — -31 В создается схемой удвоения на диоде D2 и конденсаторе С2, работа которой аналогична работе сипового блока питания. Питание реле и зуммера осуществляется от стабипизированного напряжения -12 В, формируемого выпрямителем на диоде D1, управпяющим транзистором Q, источником опорного напряжения на стабилитроне ZD и резисторе R1 и сглаживающими фильтрами на конденсаторах С1 и С3. Дополнительный стабилизатор на интеграпьной микросхеме IC1 осуществляет питание микроконтроплера. На вход IC1 подается напряжение -12 В, с выхода снимается хорошо стабилизированное напряжение -5 В.

Параллепьно первичной обмотке трансформатора иногда включается варистор, полупроводниковый прибор на основе окиси цинка. Назначение варистора состоит в том, чтобы предохранить блок питания от скачков напряжения (которые могут происходить при отключении мощной нагрузки, например магнетрона). Вопьт-амперная характеристика варистора напоминает аналогичную характеристику двунаправленного стабилитрона (рис. 2.71).

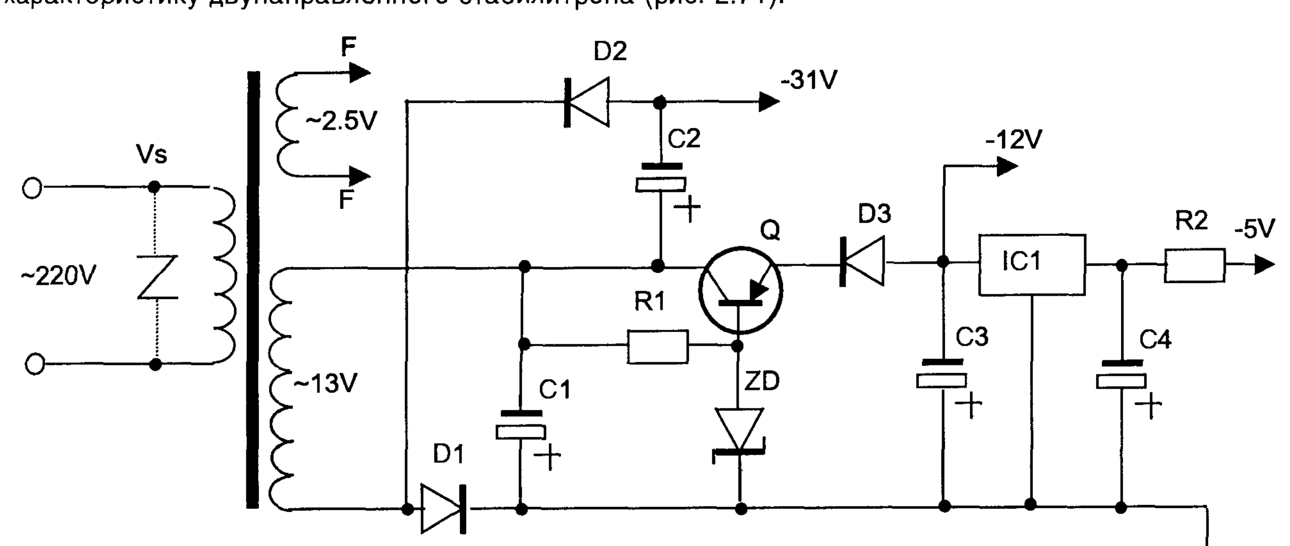



**Рис. 2.70. Типовая схема питания блока управления микроволновой печи**

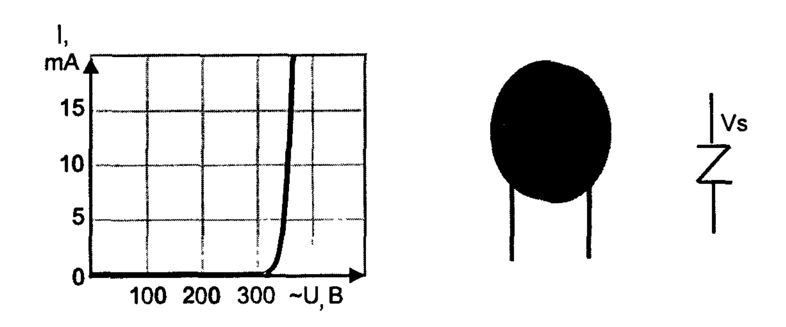



**Рис. 2.71. Внешний вид, условное обозначение и вольт-амперная характеристика варистора**

Скачок напряжения на входе трансформатора приводит к резкому снижению сопротивления варистора и, как следствие, к выравниванию напряжения. Поскопьку при этом через варистор протекает большой ток, то дпительное воздействие повышенного напряжения приводит к его перегоранию. При выходе варистора из строя замену ему можно не искать, достаточно выпаять его останки из платы и зачистить обугленные места. С учетом того, что в России повышенное напряжение в сети явление нередкое, в микроволновые печи, поставляемые в нашу страну, варистор, как правило, не ставится.

В некоторых печах (например, “Moulinex”) используются бестрансформаторные блоки питания (рис. 2.72).

Вместо трансформатора в данной схеме испопьзуется делитепь напряжения, основными элементами которого являются конденсаторы С1 и С3 и резистор R2. Сетевое напряжение, выпрямленное диодом D1, делится на перечисленных элементах пропорционально их сопротивлениям.

Реактивное сопротивление конденсатора обратно пропорционально его емкости и может быть вычислено по формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Если частота f измеряется в герцах, а емкость C в фарадах, то размерностью сопротивления Xc будут омы. По сравнению с обычным резистивным делителем емкостной обладает тем преимуществом, что преобразует напряжение практически без потерь мощности. Диод D1, помимо основной своей функции, связанной с выпрямлением напряжения, не позволяет разряжаться конденсатору C3, когда напряжение на нем превышает напряжение на входе. В итоге на конденсаторе C3 накапливается заряд, создающий постоянное напряжение величиной около 30 В. В дальнейшем оно с помощью цепочки стабилитронов преобразуется в ряд стабилизированных напряжений, необходимых для работы блока управления. Резистор R1 служит для разрядки конденсатора C1 после отключения печи из сети. Характерной особенностью аналогичных блоков питания является то, что общая шина связана не с корпусом печи, а с одним из выводов сетевого напряжения. Если в розетке, к которой подключена микроволновая печь, нулевой и фазовый провод перепутаны местами, то все элементы блока управления могут находиться под напряжением 220 В. Это никак не отражается на работе самого блока управления, но требует осторожности при проведении ремонтных работ.

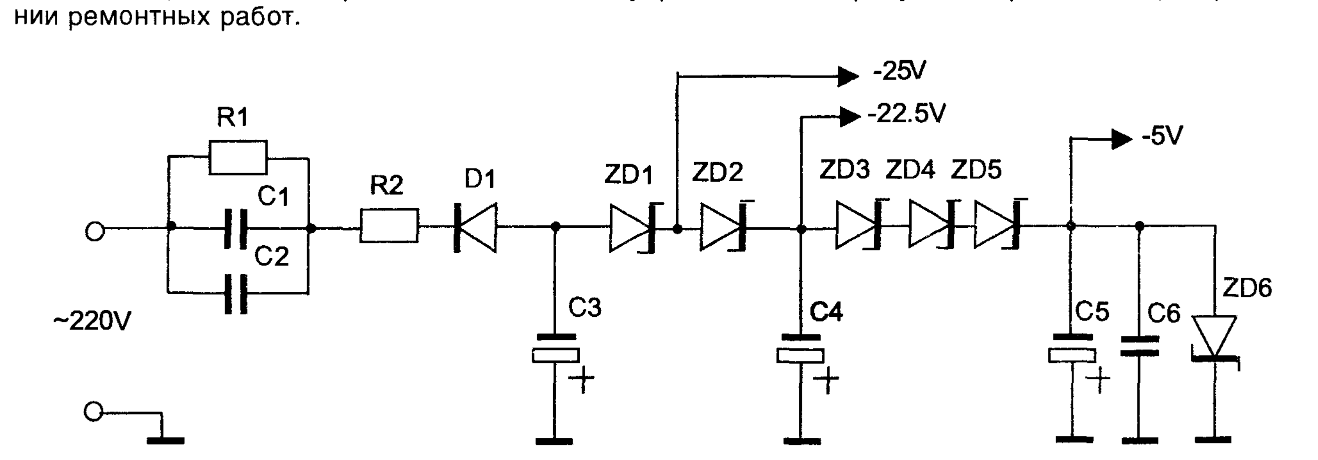



**Рис. 2.72. Схема бестрансформаторного блока питания**

## 2.9. Возможные неисправности и методы их устранения

***Неисправности микроволновых печей с электромеханическим управлением***

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| Печь не включается | В одну розетку включено несколько вилок с мощными приборами, что вызывает перегрузку бытовой сети | Отключить другие электроприборы из розетки, к которой подключена печь |
| | Нет контакта в штепсельном разъеме. Поврежден сетевой шнур | Обеспечить плотный контакт между вилкой и розеткой. Проверить сопротивление всех жил сетевого шнура. Если оно отлично от нуля или меняется при изгибе шнура, его необходимо заменить |
| | Неплотно закрыта дверца камеры | Закрыть дверцу |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| | Сломан один из микропереключателей в системе блокировки дверцы | Для проверки микропереключателя необходимо отсоединить его выводы. Проверку производить при отключенном напряжении сети. Неисправный микропереключатель требуется заменить |
| | Плохо отрегулированы защелки в системе блокировки дверцы | При закрытии дверцы расположенные на ней защелки должны нажимать кнопки микропереключателей до появления характерного щелчка. Для их регулировки требуется отпустить винты, крепящие кронштейн с микропереключателями, и установить его в такое положение, при котором все микропереключатели срабатывают при закрытии дверцы. Поскольку после такой регулировки может измениться зазор между дверцей и камерой, по ее окончании необходимо проверить уровень наружного излучения |
| | Вышло из строя термореле | Заменить термореле |
| | Сгорел сетевой предохранитель | Заменить предохранитель |
| | При установке времени на таймере его контакты не замыкаются | Заменить таймер |
| | | Разобрать таймер и устранить неисправность. Вероятно, потребуется зачистить контакты и подогнуть одну из ламелей для получения пружинящего контакта |
| | Ручка таймера прокручивается на его оси | Заменить ручку |
| | | Закрепить ручку с помощью эпоксидного клея или иным способом |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| При закрытии или открытии дверцы перегорает сетевой предохранитель | Не синхронизирована работа основного и страхующего микропереключателей | Необходимо отрегулировать работу микропереключателей таким образом, чтобы при закрытии дверцы вначале размыкался страхующий микропереключатель, а затем замыкался основной. При открытии дверцы все должно происходить в обратной последовательности |
| Печь самопроизвольно отключается, и повторное ее включение возможно только по истечении некоторого времени | В результате перегрева отключилось термореле | Если печь самопроизвольно отключилась во время работы, попробовать включить ее через 15-20 минут после отключения. В случае удачной попытки выяснить, отчего произошел перегрев. Это может быть длительная работа на максимальной мощности, высокая температура окружающей среды, отсутствие вентиляции воздуха и т.д. |
| Не освещается камера | Перегорела лампа накаливания | Заменить лампу |
| Не открывается дверца камеры | Сломана нижняя защелка дверцы | Снять кожух и отжать верхнюю защелку. Новую защелку можно изготовить самому, например, из органического стекла. Чтобы снять сломанную защелку нужно предварительно вынуть пластмассовый вкладыш с внутренней стороны дверцы |
| | Сломан механизм отпирания дверцы | Починить сломанный механизм |
| При работе печи чувствуется запах гари, не связанный с продуктом | Из-за включения печи при пониженной нагрузке произошел пробой диэлектрика, отделяющего камеру от волновода | Заменить пробитую деталь. Для изготовления новой детали необходимо использовать материалы с низким коэффициентом диэлектрических потерь (см. табл. 1.1) |
| | | Снять пробитую деталь и зачистить обгоревшие места |
| | Произошел пробой проходного конденсатора в магнетроне | Заменить проходные конденсаторы |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| | | Возможно включение магнетрона без проходных конденсаторов, если при этом уровень наружного излучения не превышает допустимых пределов. Для этого нужно снять крышку с фильтра магнетрона, удалить пробитые конденсаторы и подпаять накальные выводы трансформатора к катушкам индуктивности фильтра. Провода должны быть хорошо изолированы от корпуса магнетрона |
| | Витковое замыкание в высоковольтном трансформаторе | Заменить трансформатор. Можно использовать любой трансформатор для микроволновой печи, рассчитанный на ту же мощность |
| | | Заменить вторичную обмотку трансформатора (см. раздел 2.3) |
| При включении нагрева перегорает сетевой предохранитель | Повышенное напряжение питания в сети | Заменить предохранитель. Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10% |
| | Печь была включена без необходимой загрузки | Заменить предохранитель. Следить, чтобы загрузка камеры была не менее 200 г влагосодержащих продуктов |
| | Перегорел фьюз-диод | Заменить фьюз-диод |
| | | Удалить фьюз-диод |
| | Пробит высоковольтный диод | Заменить диод |
| | Пробит высоковольтный конденсатор | Заменить конденсатор |
| | Межвитковой пробой в трансформаторе | Заменить трансформатор. Можно использовать любой трансформатор для микроволновой печи, рассчитанный на ту же мощность |
| | | Заменить вторичную обмотку трансформатора (см. раздел 2.3) |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| | Дребезг контакта в цепи питания трансформатора. Наиболее вероятными местами, где возможен нестабильный контакт, являются: реле, разъемы, таймер и микропереключатели | Найти и обезвредить |
| | Пробит проходной конденсатор на магнетроне | См. выше |
| | Внутреннее замыкание магнетрона | Заменить магнетрон. Новый магнетрон должен соответствовать старому по выходной мощности, длине антенны, крепежным отверстиям и их ориентации относительно радиатора. |
| Нет нагрева | Перегорел высоковольтный предохранитель | Некоторые печи имеют дополнительный предохранитель в высоковольтной цепи. Меры по его восстановлению рассмотрены в разделе 2.5. |
| | Плохой контакт в накальной цепи магнетрона | Разъемы накальной обмотки должны быть плотно посажены на клеммы магнетрона и сниматься с усилием. Слабый разъем можно укрепить, обжав его пассатижами |
| | Напряжение питания в сети менее 200 В | Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10% |
| | Вышел из строя магнетрон | Заменить магнетрон. Новый магнетрон должен соответствовать старому по выходной мощности, длине антенны, крепежным отверстиям и их ориентации относительно радиатора |
| | Сломан микропереключатель в таймере, управляющий режимом нагрева | Заменить микропереключатель |
| | Не включается промежуточное реле | Проверить напряжение на катушке реле. Если оно в пределах нормы, заменить реле |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| Печь работает только в режиме максимальной мощности | Сломан микропереключатель таймера, управляющий режимом нагрева | Заменить микропереключатель |
| | Не работает таймер | Заменить таймер |
| | | Возможно “залипание” соответствующих контактов таймера. Для устранения неисправности необходимо разобрать таймер и зачистить контакты |
| Работа печи сопровождается сильным гулом | Витковое замыкание в высоковольтном трансформаторе | См. выше |
| | Вторичная обмотка высоковольтного трансформатора не плотно сидит на сердечнике | Обычно такое встречается в старых печах российского производства. Устранить или уменьшить гул можно, вбив деревянный клинышек между катушкой высоковольтной обмотки и магнитопроводом, чтобы устранить имеющийся люфт |
| Перегревается корпус микроволновой печи | Не работает или плохо вращается двигатель вентилятора | Заменить двигатель |
| | | В большинстве случаев поломки вентилятора происходят из-за механических причин (перекос между ротором и статором, попадание грязи в зазор между ними, поломка подшипников и т.п.). Иногда достаточно разобрать и затем снова собрать вентилятор, чтобы он начал работать как новый |
| | Лопасти вентилятора прокручиваются на валу | Закрепить лопасти с помощью клея или иным образом |
| Печь не выключается после отработки установленного времени | Сломана одна из шестерней в редукторе таймера | Заменить таймер |
| | | Можно попробовать починить шестерню, как это показано на рис. 2.10. |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| | Не работает двигатель таймера | Если на двигатель таймера поступает напряжение 220 В, а он не вращается, таймер необходимо заменить |
| Слабый нагрев продукта | Слишком велика загрузка камеры | Увеличить время рабочего цикла |
| | Начальная температура продукта слишком низка | |
| | Мала эмиссия катода в магнетроне | Заменить магнетрон |
| | | Добавить полвитка на накальной обмотке трансформатора. Иногда это на несколько лет продлевает срок службы магнетрона |
| | Напряжение в электрической сети менее 200 В | Включать печь только при номинальном напряжении 220 В±10% |
| Очень неравномерный нагрев продукта | Не вращается диссектор | Обрыв пассика соединяющего диссектор с двигателем вентилятора |
| | | Не работает вентилятор (см. выше) |
| | Не вращается поддон | См. след. пункт |
| Не вращается поддон | Обрыв обмотки двигателя | Заменить двигатель |
| | | Перемотать обмотку |
| | Сломана шестерня в редукторе двигателя | Заменить двигатель |
| | | Попробовать починить шестерню, как это показано на рис. 2.10. |
| | Прокручивается муфта на валу двигателя | Заменить муфту |
| | | Для того чтобы починить муфту, на нее прежде всего нужно надеть тонкое металлическое кольцо в том месте, где она насаживается на вал двигателя. Это предохранит ее от распирания. Затем с помощью эпоксидного клея можно закрепить ее на валу |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| Поддон вращается с трудом и шумом | Велик вес продукта, или он неравномерно распределен на поддоне | Правильно установить продукт |
| | Продукт или посуда, в которой он находится, выступает своими краями за площадь вращающегося поддона | |
| Искрение в камере | Используется посуда с металпизацией | Не использовать металлической посуды или посуды с нанесенным металлическим покрытием |
| | Пробой диэлектрического окна | См. выше |
| | Разрушение эмали на дверце камеры, в месте контакта с лицевой поверхностью | Закрасить поврежденные места тонким слоем лака, краски или эмали |
| | Загрязнение или пробой керамических держателей, фиксирующих инфракрасный излучатель гриля | Очистить керамический держатель от грязи и копоти |

### *Неисправности микроволновых печей с электронным блоком управления*

Все, что было рассмотрено относительно микроволновых печей с электромеханическим управлением, справедливо и для печей с электронным блоком управления (за исключением поломок, связанных с таймером). Кроме этого, существует ряд специфических неисправностей, присущих только печам с электронным блоком. Поскольку имеется широкое разнообразие электронных блоков управления, трудно выделить какие-либо универсальные неисправности, присущие всем печам. Некоторые характерные неисправности приведены в главе 3 при описании соответствующих схем. Ниже приведены лишь наиболее общие и часто встречающиеся неисправности.

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| Перегорает сетевой предохранитель | Пробит варистор на плате управления | Удалить варистор. Зачистить обугленные места |
| | Неисправен трансформатор на плате управления | Заменить трансформатор |
| Не работает клавиатура | “Залипание” одной из кнопок клавиатуры | См. раздел в тексте посвященный клавиатуре |
| | Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер | Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения |
| Не работает кнопка "ПУСК" | Нет сигнала с микропереключателя о закрытии дверцы | Проверить соответствующий микропереключатель и поступление сигнала на микроконтроллер |
| | Неисправен формирователь синхронизирующих импульсов 50 Гц | Проверить формирователь импульсов |

| Проявление дефекта | Возможная причина неисправности | Методы устранения неисправности |
|---|---|---|
| | Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер | Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения |
| Нет индикации | Неисправен трансформатор на плате управления | Заменить трансформатор |
| | Перегорел предохранитель на плате управления | Проверить схему на короткое замыкание. Заменить предохранитель |
| | Вышел из строя кварцевый резонатор | Заменить кварцевый резонатор |
| | Неисправен микроконтроллер | Заменить микроконтроллер |
| | Нет стабилизированного напряжения, питающего микроконтроллер | Проверить стабилизатор и схему контроля напряжения |
| Нет нагрева | Неисправно реле на плате управления | Заменить реле |
| | Неисправен буферный усилитель между микроконтроллером и реле | Проверить буферный усилитель |

## 2.10. Меры безопасности при работе с микроволновой печью

Имеется два фактора, представляющих опасность при ремонте микроволновой печи. Это непосредственно микроволновое излучение и высокое напряжение.

В исправной микроволновой печи уровень излучения не может представлять угрозы для здоровья человека, поскольку оно сосредоточено внутри закрытого объема камеры и конструкция печи не позволяет включить нагрев при открытой дверце. Но тот, у кого нет проблем с печью, вряд ли прочтет эти строки. Поэтому перечислим меры предосторожности, которые требуется выполнять при ее ремонте.

1. Нельзя включать печь при неисправной блокировке дверцы. При выходе из строя одного из блокирующих микропереключателей его необходимо заменить, но ни в коем случае не убирать блокировку, “закорачивая” выводы.
2. Нельзя включать печь со сломанной дверцей или поврежденной сеткой на смотровом окне.
3. Нельзя делать отверстия в корпусе микроволновой печи, какими бы высокими научными целями это ни мотивировалось.
4. В отверстия камеры, служащие для циркуляции воздуха, нельзя вводить какие бы то ни было токопроводящие предметы (провода, гвозди, ртутные термометры и т.п.).

При ремонте дверцы, связанном с ее защитными функциями, требуется контролировать уровень наружного излучения. Для этой цели лучше всего воспользоваться промышленно выпускаемыми датчиками излучения. К сожалению, такие датчики относительно редко можно встретить в продаже. Простейший датчик микроволнового излучения можно изготовить самому. Его конструкция представлена на рис. 2.73.

Он состоит из детекторного СВЧ-диода, конденсатора, проволочной петли, выполняющей функцию антенны и охватывающей площадь в несколько квадратных сантиметров, и тестера. Принцип действия такого датчика состоит в следующем: магнитное поле микроволн, пронизывая прово-

лочную петлю, будет наводить в ней СВЧ ток, который после детектирования диодом создаст на конденсаторе разность потенциалов. Выпрямпенное напряжение на конденсаторе будет пропорционально напряженности магнитного попя в данной точке пространства и может быть измерено с помощью тестера. Чтобы таким устройством можно было проводить измерения, оно допжно быть предваритепьно откалибровано, например, на заведомо исправной микроволновой печи. Точность таких измерений, конечно, невысока, но оценить порядок наружного излучения позволяет.

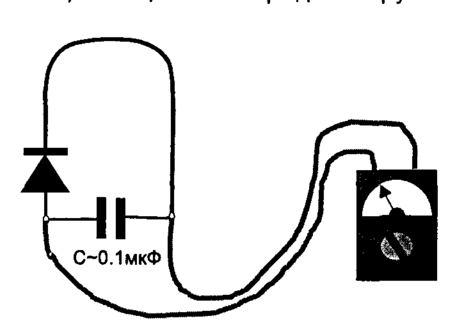



**Рис. 2.73. Простейшая схема для обнаружения микроволнового излучения**

Особую осторожность следует собпюдать при работе с высоким напряжением. На катоде магнетрона присутствует постоянное напряжение — 4 кВ, вдвое меньшее — на высоковольтном конденсаторе — 2.1 кВ и трансформаторе — ~2.1 кВ. Причем следует обратить внимание, что указанные элементы стоят в сиповой части, соответственно мощность высоковольтного источника очень велика (более 1 кВт). В этом состоит принципиапьное отличие микроволновой печи, например, от тепевизора, в котором хотя и присутствует бопее высокое напряжение, но ток ограничен. Суровая жизнь иногда требует провести измерения при включенной печи, в том числе и на высоковольтных эпементах. Чтобы избежать неприятностей, в том числе с летальным исходом, лучше всего придерживаться двух основных правил.

1. Не прикасаться к внутренним деталям печи во время ее работы. Для проведения измерений на щупы измерительных приборов надеть зажимы типа "крокодип", которыми подключать их к измеряемым участкам цепи перед включением печи.
2. Прежде чем дотронуться до высоковольтных частей руками, даже если печь выключена из сети, жепательно замкнуть выводы магнетрона на корпус. Эта предосторожность позвопит вам избежать разряда конденсатора через свое тело. Несмотря на то что между выводами конденсатора в микроволновой печи всегда включают специальный резистор, разряжающий его после снятия напряжения (в современных конденсаторах он является составной частью последнего и находится внутри корпуса), тем не менее всегда существует опасность того, что резистор сгорел или его забыпи поставить.

Сетевой шнур допжен иметь заземпяющий вывод. При его отсутствии возможны неисправности, при которых корпус будет находиться под напряжением. Например, если в результате пробоя трансформатора, анодное напряжение замкнется на сетевое, то корпус окажется под напряжением 4 кВ. Спучай этот мапоероятен, но, как известно, раз в год и незаряженное ружье стреляет.

# 3. Принципиальные электрические схемы микроволновых печей

Перед рассмотрением схем, представленных в данной главе, хотелось бы сделать некоторые предварительные замечания, которые необходимо учитывать в практической работе. Как правило, схемы микроволновых печей, выпускаемых одним и тем же производителем, во многом схожи между собой, поэтому, если даже в книге не представлена интересующая вас модель некоторая полезная информация может быть получена при рассмотрении других моделей того же производителя. Во многих случаях одна и та же плата блока управления используется в нескольких моделях, внешне не похожих между собой. Различие, если оно вообще имеется, может состоять в отсутствии или, наоборот, присутствии некоторых дополнительных компонентов и в тексте программы микроконтроллера.

Часть схем снабжена описанием работы или дополнительными комментариями. Они присутствуют там, где имеется существенное отличие от установившегося стандарта или выявлены характерные неисправности присущие только данной модели.

Информация по некоторым печам имеется у автора не в полном объеме, тем не менее, она помещена в книгу, поскольку лучше иметь что-то, чем совсем ничего. Часть схем составлялась по печатной плате, поэтому не исключена вероятность некоторых ошибок, за что автор заранее просит извинения у читателя.

Начнем с микроволновых печей российского производства

## Микроволновая печь “Электроника СП01”

Принципиальная электрическая схема печи показана на рис. 3.1.

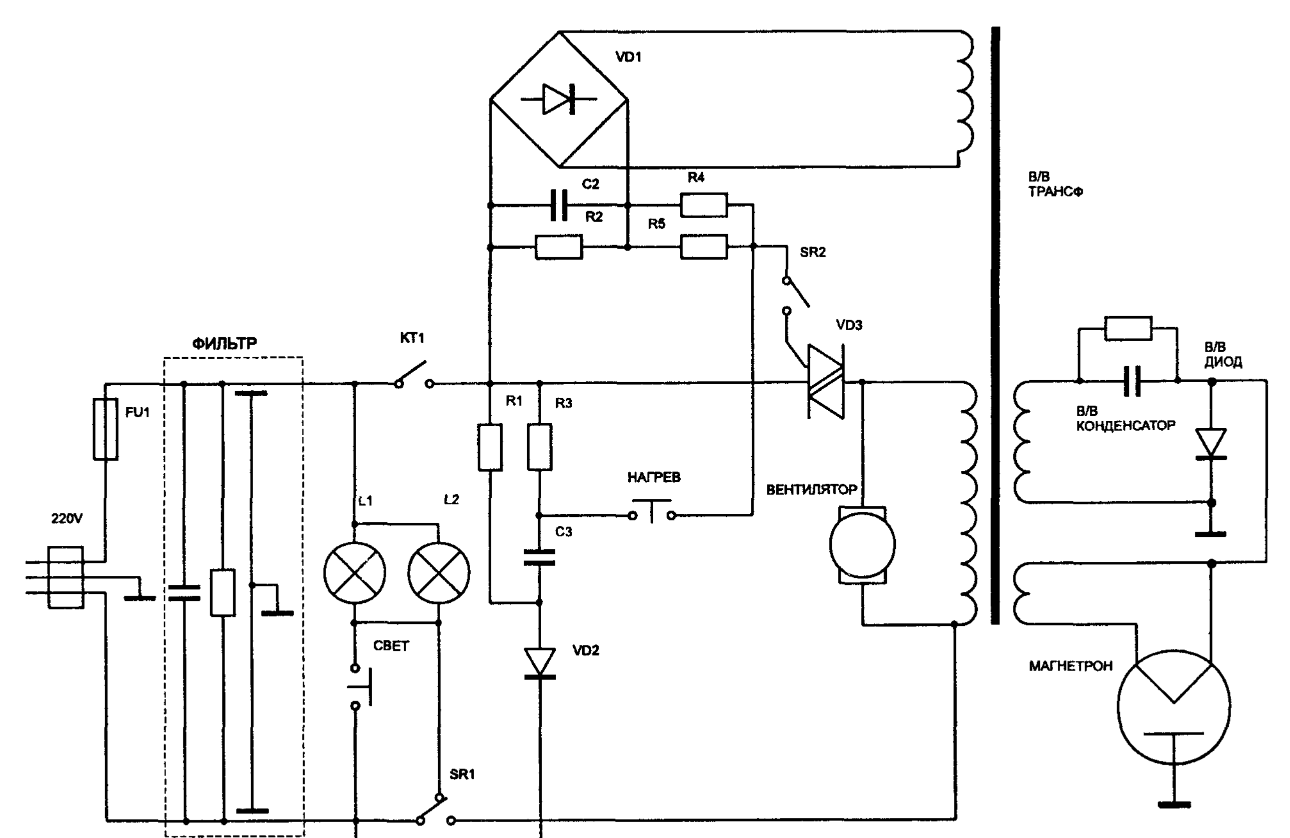



**Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Электроника СП01”**

Включение печи осуществляется при нажатии на кнопку “НАГРЕВ”, после того как на таймере KT1 установлено требуемое время и его контакты замкнутся. При этом конденсатор C3, предварительно заряженный через диод VD2, разряжается через управляющий электрод симистора

VD3. Во время разряда симистор открывается и успевает на короткое время включить трансформатор H.V.Trans. Напряжение с управляющей обмотки трансформатора, после выпрямления диодным мостом, поступает на управляющий электрод симистора, поддерживая его дальнейшую работу. Выключение печи происходит после отработки таймером заданного времени и отключения контакта КТ1.

Печь не предусматривает регулировки уровня мощности.

## Микроволновая печь "Электроника СП10"

Принципиальная электрическая схема печи показана на рис.3.2, список компонентов платы управления приведен в таблице 3.1, а перечень характерных неисправностей в таблице 3.2.

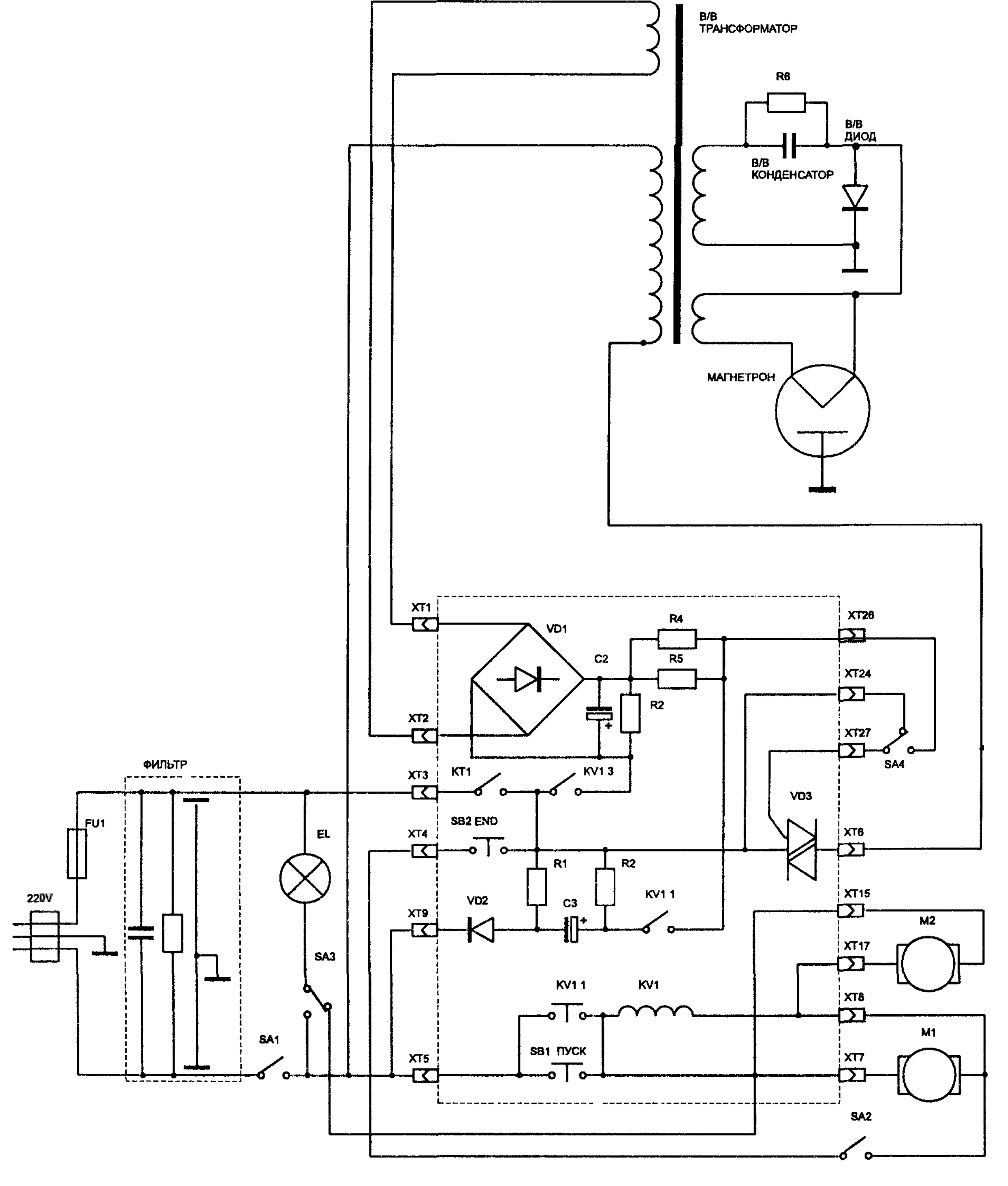



Рис.3.2. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Электроника СП10"

Таблица 3.1. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “Электроника СП10”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | КТ1 | Реле времени РВ-30А | |
| 2 | В1, В2 | Переключатель П2К-С-2-20-2 | |
| 3 | С2 | Конденсатор электролитический 220 мкФ 25 В | |
| 4 | С3 | Конденсатор электролитический 4.7 мкФ 450 В | |
| 5 | R1 | Резистор 100 К | |
| 6 | R2 | Резистор 680 Ом | |
| 7 | R3 | Резистор 2.7 К | |
| 8 | R4, R5 | Резистор 180 Ом | |
| 9 | VD1 | Диодный мост КЦ405А | |
| 10 | VD2 | Диод МД218 | |
| 11 | VD3 | Симистор ТС122-25-5-7 | |
| 12 | К1 | Реле РП21-003-УХЛ4А-220В | |

Таблица 3.2. Характерные неисправности микроволновой печи “Электроника СП10”

| № п/п. | Перечень характерных неисправностей | Возможная причина неисправности и способы ее устранения |
|---|---|---|
| 1 | В момент нажатия кнопки “ПУСК” печь включается на короткое время и тут же выключается | Неисправен диодный мост VD1 |
| 2 | Печь не включается | Прогорели контакты таймера КТ1. Подключить замыкаемые выводы к дублирующей паре контактов |

Аналогичная схема или с небольшими различиями характерна для многих печей российского производства 80х годов (“Садко”, “Метеор”, и т.д.). Ее основное отличие от предыдущей модели состоит в возможности регулировки мощности посредством микропереключателя SA4, который периодически замыкается кулачками укрепленными на валу микродвигателя М2. Соотношение между временем включения и выключения SA4 в течение цикла задается с помощью ручки на панели управления.

## Блок управления “БУВИ-2”

Данный блок управления используется во многих микроволновых печах российского производства, в частности: “Электроника 23”, “Фея”, “Днепрянка” и т.д. Имеются две разновидности этого блока, отличающихся цветом люминесцентного индикатора и схвмой подключения буферных усилителей между контроллером и индикатором. Принципиальная электрическая схема первого варианта “БУВИ-2” приведена на рис. 3.3, второго на рис. 3.4. Список компонентов приведен в таблицах 3.3 и 3.4 соответственно, а перечень характерных неисправностей в таблице 3.5. При замене одного варианта на другой в подводящем разъеме необходимо перепаять общий вывод с 8-й клеммы на 11-ю или наоборот. В противном случае печь будет работать, но индикатор не будет светиться.

Сигнал “магнетрон”, управляющий включением силового блока питания, не может быть использован непосредственно, так как для включения реле он не обладает достаточной мощностью, а включение симистора требует развязки. Поэтому в печах предусмотрены дополнительные платы коммутации, одна из которых приведена на рис. 3.5.

Схема блока управления “БУВИ-2” во многом схожа с подробно рассмотренной далее схемой управления от микроволновой печи “Электроника СП-25”.

**Таблица 3.3. Перечень элементов блока управления “БУВИ-2” (1-й вариант)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | D1 | Микросхема К155ЛН1 | |
| 2 | D2 | Микросхема КМ1816ВЕ48 | M5L8035LP |
| 3 | D3 | Микросхема К589ИР12 | |
| 4 | D4 | Микросхема К573РФ2 | К573РФ21 |
| 5 | D5 | Микросхема К580ВР43 | M5L8243P |
| 6 | D6 | Микросхема КР142ЕН5В | |
| 7 | HG1 | Индикатор люминисцентный П586 | |
| 8 | BA1 | Звонок пьезокерамический ЗП-3 | |
| 9 | VT1 — VT21 | Транзистор n-p-n КТ315В | |
| 10 | VD1 | Диод КД522Б | |
| 11 | VD2 — VD7 | Диод КД212В | |
| 12 | VD8 | Диод КД522Б | |
| 13 | V1 | Выпрямительный мост КЦ407А | |
| 14 | Z1 | Резонатор пьезоэлектрический 4608 кГц | |
| 15 | C1, C2 | Конденсатор 20пФ | |
| 16 | C3 | Конденсатор электролитический 1 мкФ ,50 В | |
| 17 | C4 — C7 | Конденсатор 0,22мкФ | |
| 18 | C8 | Конденсатор электролитический 100 мкФ, 10 В | |
| 19 | C9 | Конденсатор электролитический 20 мкФ, 50 В | |
| 20 | C10 | Конденсатор электролитический 200 мкФ, 16 В | |
| 21 | C11 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 22 | C12 | Конденсатор 0.047 мкФ | |
| 23 | C13 | Конденсатор электролитический 200 мкФ, 16 В | |
| 24 | R1 — R3 | Резистор 10 К, 0.125 Вт | |
| 25 | R4 | Резистор 100 К, 0.125 Вт | |
| 26 | R5 — R9 | Резистор 10 К, 0.125 Вт | |

Таблица 3.3. Перечень элементов блока управления “БУВИ-2” (1-й вариант) (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 27 | R10 — R48 | Резистор 20 К, 0.125 Вт | |
| 28 | R49 | Резистор 2 К, 1 Вт | |
| 29 | R50 | Резистор 51 Ом, 2 Вт | |
| 30 | R51 | Резистор 3 Ом, 0.5 Вт | |
| 31 | R52 | Резистор 39 К, 0.125 Вт | |
| 32 | R53 | Резистор 1.1 К, 0.125 Вт | |
| 33 | R54 | Резистор 10 К, 0.125 Вт | |
| 34 | XT1 | Колодка 0104.130.041-01 | |
| 35 | XT2 | Колодка 0104.130.041-06 | |

Таблица 3.4. Перечень элементов блока управления “БУВИ-2” (2-й вариант)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | D1 | Микросхема К155ЛН1 | |
| 2 | D2 | Микросхема КМ1816ВЕ48 | M5L8035LP |
| 3 | D3 | Микросхема К589ИР12 | |
| 4 | D4 | Микросхема К573РФ2 | К573РФ21 |
| 5 | D5 | Микросхема К580ВР43 | M5L8243P |
| 6 | D6 | Микросхема КР142ЕН5В | |
| 7 | HG1 | Индикатор люминисцентный УИ13 | |
| 8 | BA1 | Звонок пьезокерамический ЗП-3 | |
| 9 | VT1, VT21 | Транзистор n-p-n КТ315В | |
| 10 | VT2 — VT20 | Транзистор p-n-p КТ361А | |
| 11 | VD1 | Диод КД522Б | |
| 12 | VD2 — VD7 | Диод КД212В | |
| 13 | VD8 | Диод КД522Б | |
| 14 | V1 | Выпрямительный мост КЦ407А | |
| 15 | Z1 | Резонатор пьезоэлектрический 4608 кГц | |
| 16 | C1, C2 | Конденсатор 20 пФ | |
| 17 | C3 | Конденсатор электролитический 1 мкФ, 50 В | |

**Таблица 3.4. Перечень элементов блока управления “БУВИ-2” (2-й вариант) (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 18 | С4 — С7 | Конденсатор 0.22 мкФ | |
| 19 | С8 | Конденсатор электролитический 100 мкФ, 10 В | |
| 20 | С9 | Конденсатор электролитический 20 мкФ, 50 В | |
| 21 | С10 | Конденсатор электролитический 200 мкФ, 16 В | |
| 22 | С11 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 23 | С12 | Конденсатор 0.047 мкФ | |
| 24 | С13 | Конденсатор электролитический 200 мкФ, 16 В | |
| 25 | R1 — R3 | Резистор 10 К, 0.125 Вт | |
| 26 | R4 | Резистор 100 К, 0.125 Вт | |
| 27 | R5 - R9 | Резистор 10 К, 0.125 Вт | |
| 28 | R10, R11 | Резистор 20 К, 0.125 Вт | |
| 29 | R12 – R15 | Резистор 68 К, 1 Вт | |
| 30 | R16 | Резистор 750 Ом, 2 Вт | |
| 31 | ХТ1 | Колодка 0104.130.041-01 | |
| 32 | ХТ2 | Колодка 0104.130.041-06 | |

**Таблица 3.5. Характерные неисправности блока управления “БУВИ-2”**

| № п/п | Перечень характерных неисправностей | Возможная причина неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1 | Не работает клавиатура. Тест проходит нормально | Неисправна микросхема 580ВР43 |
| 2 | Сбиваются показания индикатора | Неисправен стабилизатор 5V. Возможно, вышел из строя конденсатор С10 |
| 3 | Не светится или не гаснет сегмент индикатора | Неисправен транзистор в соответствующем буферном усилителе |
| 4 | Мерцает индикатор | Вышел из строя один из диодов VD6, VD7 |
| 5 | При включении печи не проходит тест | Вышел из строя микропроцессор КР1816ВЕ35 или его аналог |
| 6 | Не работает часть кнопок на клавиатуре | Обрыв контактной дорожки. Вероятнее всего вблизи одного из разъемов |
| 7 | Не светится индикатор. В остальном печь работает нормально | Вышел из строя диодный мост V1 |

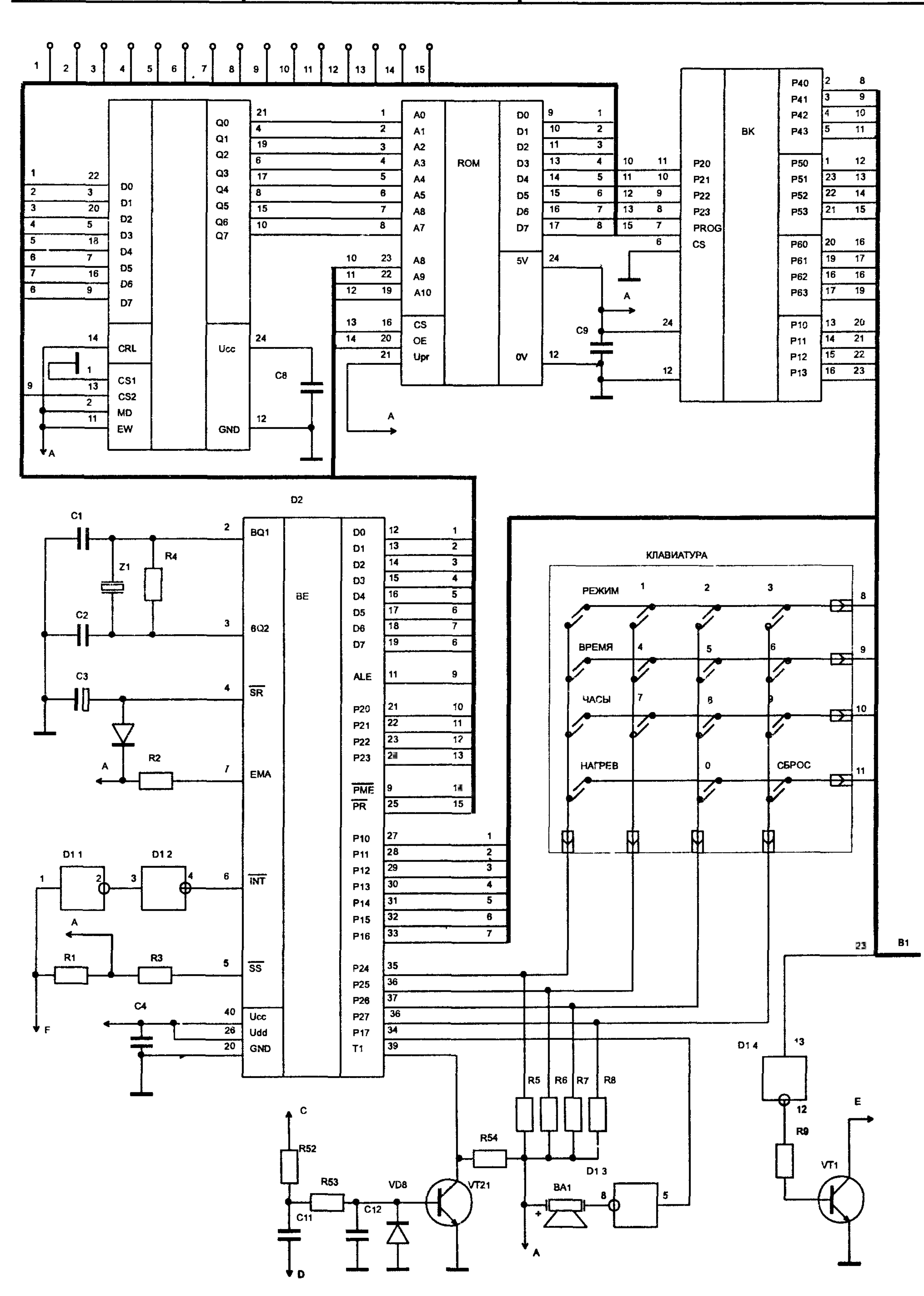
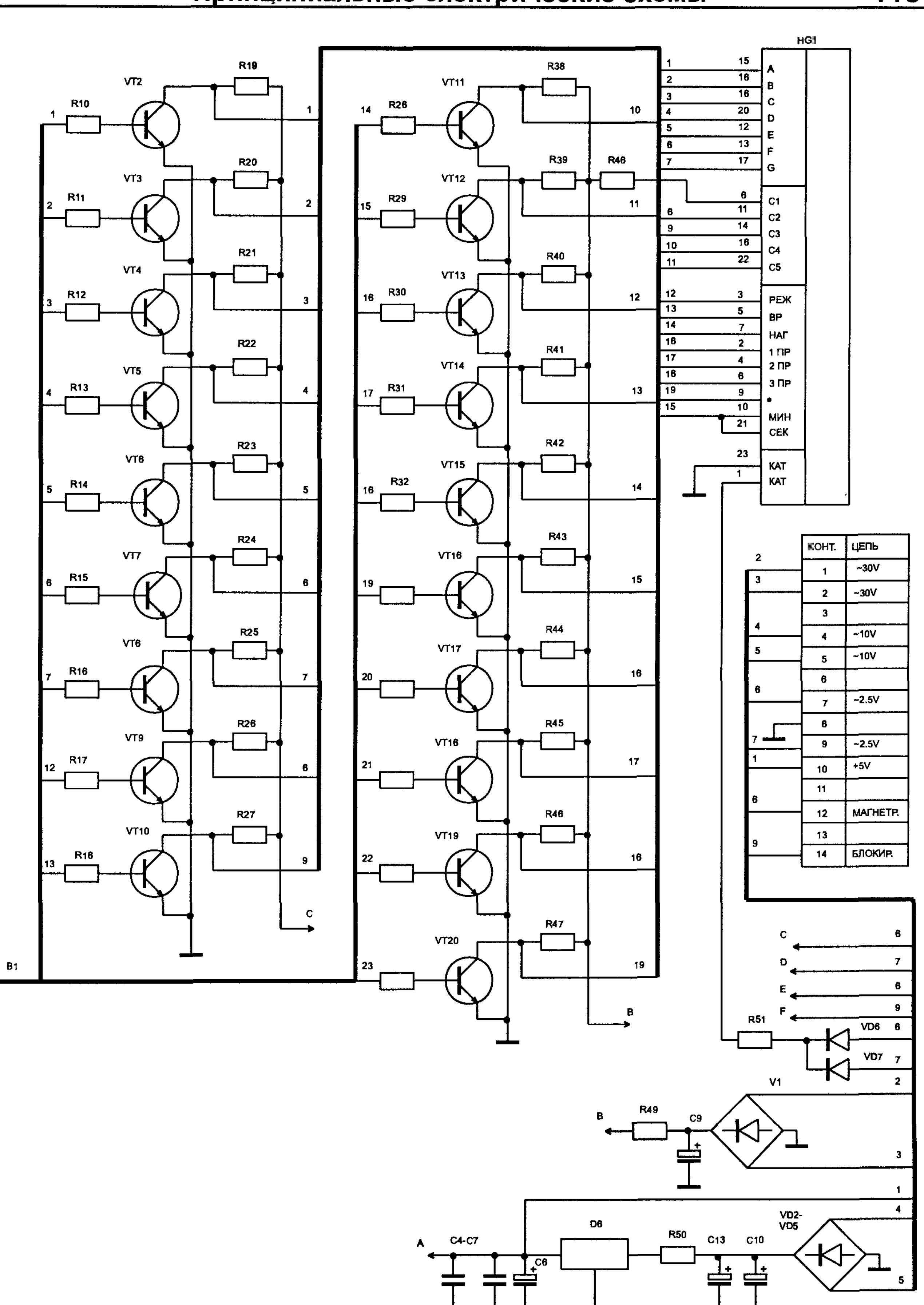



Рис. 3.3. Блок управления, ввода и индикации для микроволновой печи "БУВИ-2" (1-й вариант)


HG1
VT2
VT3
VT4
VT5
VT6
VT7
VT8
VT9
VT10
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
R22
R23
R24
R25
R26
R27
VT11
VT12
VT13
VT14
VT15
VT16
VT17
VT18
VT19
VT20
R28
R29
R30
R31
R32
R38
R39
R46
R40
R41
R42
R43
R44
R45
R47
B1
C
B
A
B
C
D
E
F
G
C1
C2
C3
C4
C5
РЕЖ
ВР
НАГ
1 ПР
2 ПР
3 ПР
МИН
СЕК
КАТ
КАТ
КОНТ.
ЦЕПЬ
1 ~30V
2 ~30V
3
4 ~10V
5 ~10V
6
7 ~2.5V
8
9 ~2.5V
10 +5V
11
12 МАГНЕТР.
13
14 БЛОКИР.
C
D
E
F
R51
VD6
VD7
V1
R49
C9
D8
R50
C13
C10
VD2-
VD5
C4-C7
C8

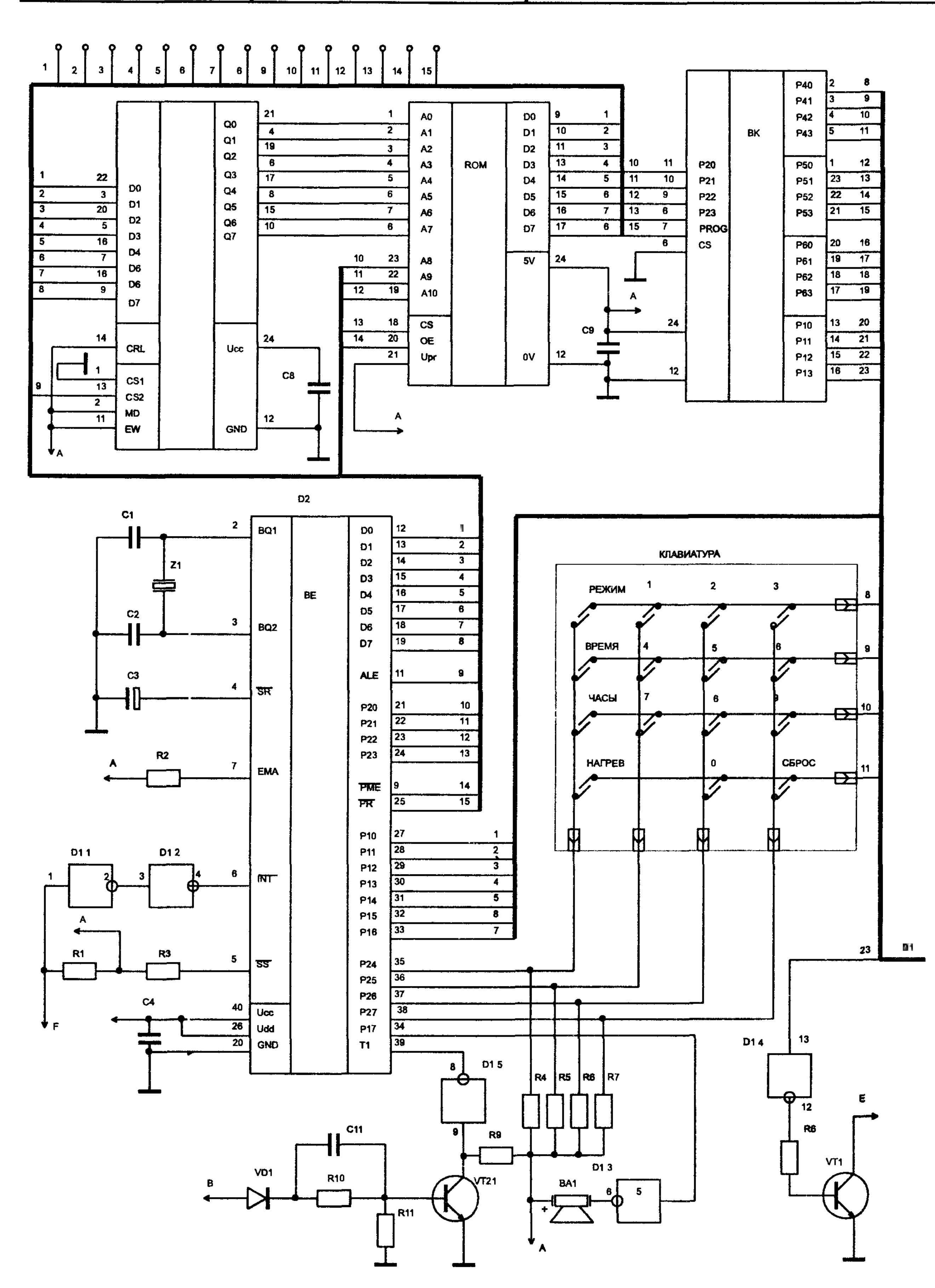
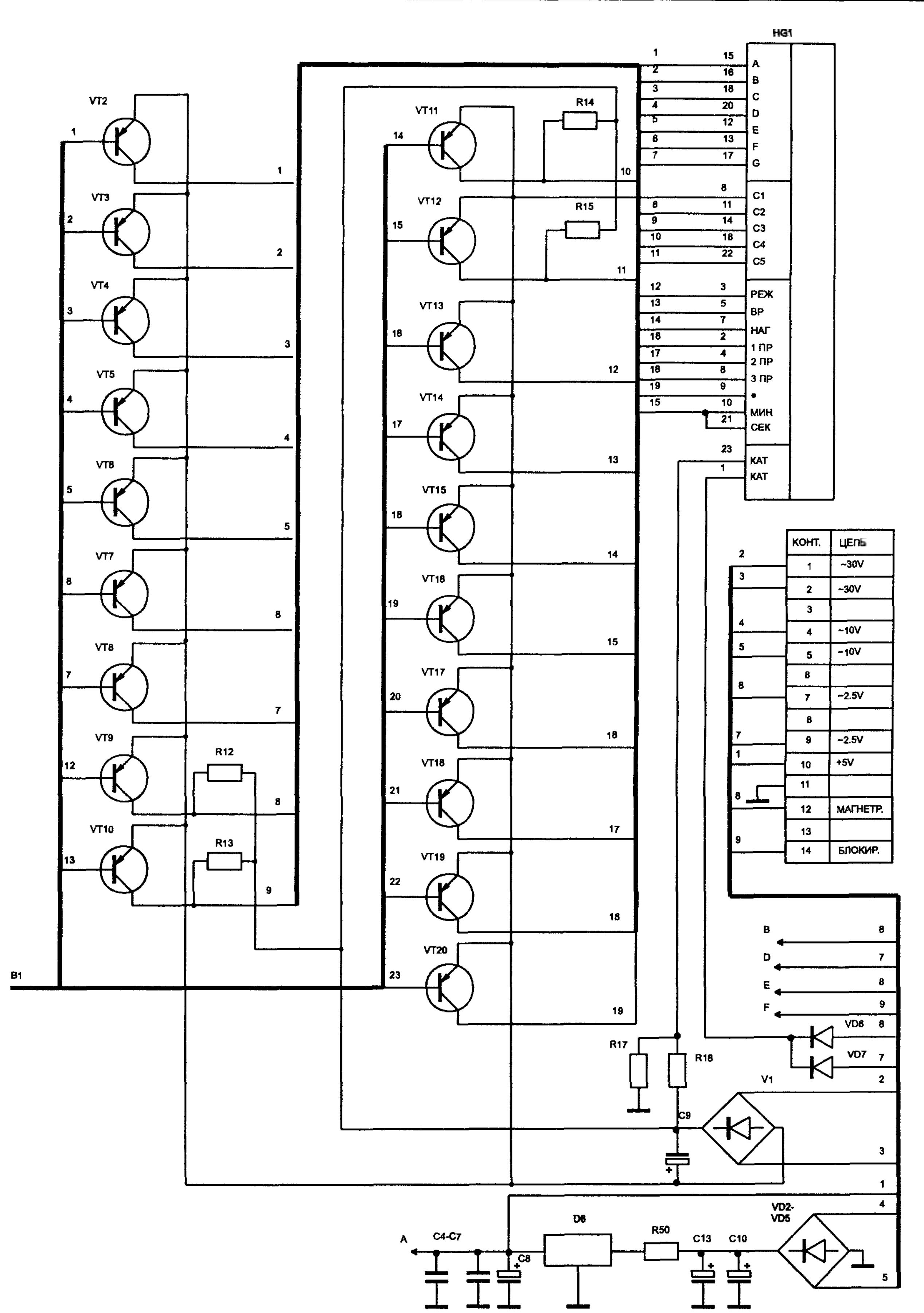



Рис. 3.4. Блок управления, ввода и индикации для микроволновой печи "БУВИ-2" (2-й вариант)


HG1
A
B
C
D
E
F
G
C1
C2
C3
C4
C5
РЕЖ
ВР
НАГ
1 ПР
2 ПР
3 ПР
МИН
СЕК
КАТ
КАТ
VT2
VT3
VT4
VT5
VT6
VT7
VT8
VT9
VT10
VT11
VT12
VT13
VT14
VT15
VT16
VT17
VT18
VT19
VT20
R12
R13
R14
R15
R17
R18
B1
КОНТ. ЦЕПЬ
1 ~30V
2 ~30V
3
4 ~10V
5 ~10V
6
7 ~2.5V
8
9 ~2.5V
10 +5V
11
12 МАГНЕТР.
13
14 БЛОКИР.
B
D
E
F
VD6
VD7
V1
C9
VD2-VD5
D6
R50
C13
C10
C4-C7
C8
A

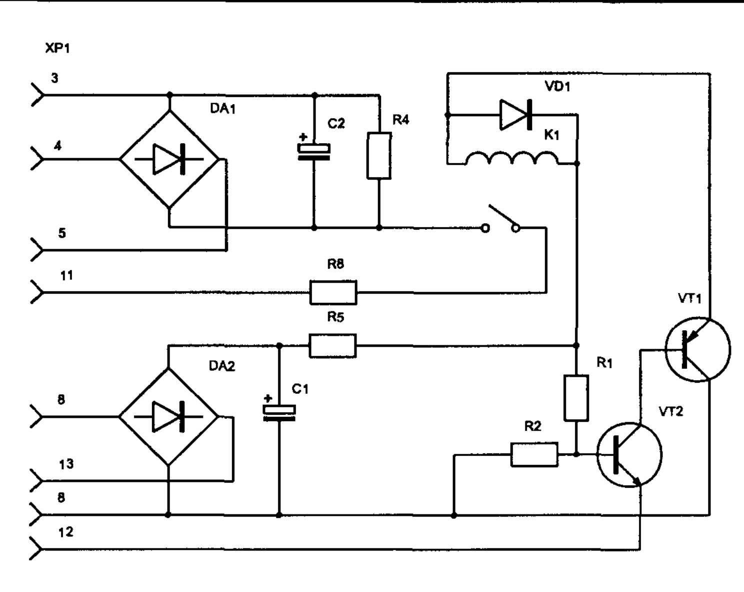



Рис. 3.5. Плата коммутации

# Микроволновые печи “Электроника СП-23 ЗИЛ”, “Электроника СП23-1”, “Радо-Гурман”

“Электроника СП23 ЗИЛ” и “Электроника СП23-1” ничем не напоминают “Электронику СП23”, поэтому остается загадкой, почему абсолютно разные печи, и конструктивно, и с точки зрения схемных решений, имеют практически одинаковые названия. Принципиальная электрическая схема блока управления печи представлена на рис. 3.6, а платы коммутации на рис. 3.7. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.6, блока коммутации в таблице 3.8, а перечень характерных неисправностей в таблице 3.7.

**Таблица 3.6. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Электроника СП-23 ЗИЛ”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | D1 | Микросхема КР165ГФ2 | |
| 2 | D2 | Микропроцессор К145ИК1807 | |
| 3 | D3 | Микросхема К172ТР1 | |
| 4 | D4 | Микросхема ПЗУ К145РЕ2 | |
| 5 | D5 — D8 | Микросхема К161ПР2 | |
| 6 | VT2 | Транзистор КТ361Д | |
| 7 | VT3 | Транзистор КТ815 | |
| 8 | VT4 — VT13 | Транзистор КТ361Д | |
| 9 | VD1 | Диод | |
| 10 | VD2, VD3 | Диодная сборка | |
| 11 | VD4 | Стабипитрон | |
| 12 | VD5 | Стабипитрон 27 В | |
| 13 | VD6 — VD18 | Диод | |

Таблица 3.6. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Электроника СП-23 ЗИЛ" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 14 | FU1 | Предохранитель 1 А | |
| 15 | R1 | Резистор 9.1 МОм | |
| 16 | R2 | Резистор 2.0 МОм | |
| 17 | R3 | Резистор 9.1 МОм | |
| 18 | R4 | Резистор 100 K | |
| 19 | R5 | Резистор 6.2 K | |
| 20 | R8 | Резистор 200 K | |
| 21 | R10 | Резистор 100 K | |
| 22 | R11 | Резистор 20 K | |
| 23 | R12 | Резистор 1.8 K, 2 Вт | |
| 24 | R13 | Потенциометр 33 K | |
| 25 | R14 | Резистор 15 K | |
| 26 | R16 — R20 | Резистор 33 K | |
| 27 | R21 — R23 | Резистор 20 K | |
| 28 | R24 | Резистор 220 Ом | |
| 29 | R25, R26 | Резистор 33 K | |
| 30 | R28 — R40 | Резистор 33 K | |
| 31 | R41 | Резистор 100 K | |
| 32 | R42 | Резистор 82 K | |
| 33 | R43 | Резистор 200 K | |
| 34 | R44 | Резистор 47 K | |
| 35 | R45 | Резистор 20 K | |
| 36 | R46, R47 | Резистор 100 K | |
| 37 | R48 | Резистор 33 K | |
| 38 | R50 | Резистор 10 K | |
| 39 | R52 | Резистор 20 K | |
| 40 | R53 | Резистор 100 K | |
| 41 | R54 | Резистор 20 K | |
| 42 | R55 | Резистор 33 K | |
| 43 | R56 | Резистор 10 K | |

Таблица 3.6. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Электроника СП-23 ЗИЛ” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 44 | R57 | Резистор 20 K | |
| 45 | R58 | Резистор 910 K | |
| 46 | R59 | Резистор 100 K | |
| 47 | R60 | Резистор 200 K | |
| 48 | R62 | Резистор 33 K | |
| 49 | R64 | Резистор 47 K | |
| 50 | R65, R66 | Резистор 1.8 K | |
| 51 | C1 | Конденсатор 1000 пкФ | |
| 52 | C2 | Конденсатор 0.033 мкФ | |
| 53 | C3 | Конденсатор 2200 пкФ | |
| 54 | C4 | Конденсатор 1000 пкФ | |
| 55 | C6, C7 | Конденсатор 2200 пкФ | |
| 56 | C8 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 57 | C10 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 58 | C11, C12 | Конденсатор электролитический 220 мкФ, 40 В | |
| 59 | C14 | Конденсатор 1000 пкФ | |
| 60 | C15 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 61 | C16 | Конденсатор электропитический 47 мкФ, 100 В | |
| 62 | C18 | Конденсатор 2200 пкФ | |
| 63 | C19, C21 | Конденсатор 1000 пкФ | |
| 64 | C23 — C25 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 65 | C26 | Конденсатор электропитический 2.2 мкФ, 100 В | |
| 66 | C28 | Конденсатор 2200 пкФ | |
| 67 | C29 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ, 100 В | |
| 68 | BQ1 | Резонатор пьезоэлектрический | |

Таблица 3.7. Характерные неисправности блока управления микроволновой печи “Электроника СП-23 ЗИЛ”

| № п/п | Перечень характерных неисправностей. | Возможные причины неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1 | Горят сетевые предохранители | 1. Дребезг контактов в реле KV12. Заменить реле<br>2. Неисправен транзистор VT4. Заменить транзистор |
| 2 | Печь не греет. Точка “НАГРЕВ” на индикаторе светится | Неисправно реле KV12. Заменить реле |
| 3 | Не горят или не гаснут некоторые сегменты индикатора | Неисправна одна из микросхем D5 |
| 4 | При включении блока управления не исчезает звуковой сигнал. На индикаторе вместо нулей высвечивается другая информация (чаще всего 11:11) | Нет импульсов на одном из выходов тактового генератора D1 (2-й, 6-й, 9-й и 12-й выводы микросхемы). Заменить микросхему D1 |
| 5 | Не работает или неправильно работает клавиатура | Неисправен микропроцессор D2. Заменить микросхему |
| 6 | После нажатия кнопки “НАГРЕВ”, печь включается без обычной выдержки в несколько секунд. Время работы на индикаторе не соответствует установленному | Неисправна микросхема ПЗУ К145РЕ2 |
| 7 | После нажатия кнопки “НАГРЕВ”, индикатор обнуляется как обычно, однако, в дальнейшем, отсчет времени не производится | 1. Неисправен микропроцессор D2<br>2. Неисправен один из элементов цепи образованной транзисторами VT8, VT10 |
| 8 | Нет индикации | 1. Сгорел предохранитель FU1<br>2. Вышел из строя один из элементов стабилизатора (VD3, VD5, VT3) |
| 9 | Нет звуковой сигнализации | Вышел из строя один из транзисторов VT7, VT11 |

Таблица 3.8. Перечень элементов блока коммутации микроволновой печи “Электроника СП-23 ЗИЛ”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | XP1, XP2 | Разъем МРН 14-1 | |
| 2 | VD1 | Диодная сборка | |
| 3 | V1 | Оптрон АОТ127А | |
| 4 | VT1 | Транзистор n-p-n КТ817Б | |
| 5 | C1 | Конденсатор керамический 68 нФ | |

Таблица 3.8. Перечень элементов блока коммутации микроволновой печи "Электроника СП-23 ЗИЛ" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 6 | C2 | Конденсатор электролитический 220 мкФ, 25 В | |
| 7 | C3 | Конденсатор керамический 68 нФ | |
| 8 | R1 | Резистор 10 K | |
| 9 | R2 | Резистор 2.7 K | |
| 10 | R3 | Резистор 1 K | |
| 11 | R4 | Резистор 330 Ом | |
| 12 | R5 | Резистор 47 Ом, 2 Вт | |

## Микроволновая печь "Электроника СП-25"

Принципиальная электрическая схема печи и блока коммутации представлены на рис. 3.8, схема блока управления на рис. 3.9. Перечень компонентов приведен в таблице 3.11. Аналогичные схемы встречаются во многих печах российского производства, поэтому рассмотрим ее работу более детально.

Конструктивно блок управления делится на плату управления А1 и плату коммутации А2.

По функциональному назначению электрическую схему платы управления А1 можно разделить на:

- схему формирования синхронизирующих импульсов;
- схему управления;
- схему индикации;
- схему звуковой сигнализации.

Схема формирования синхронизирующих импульсов включает в себя: резисторы R5, R6, R10, конденсаторы C6, C8, транзистор VT1, диод VD2.

При включении выключателя "СЕТЬ" на резистор R5 и конденсатор C5 подается переменное напряжение 9 В±10%, частотой 50 Гц. Резистор R5 и конденсатор C5 образуют фазосдвигающую цепочку. Переменное напряжение через резистор R6 подается на базу транзистора VT1. Конденсатор C6 и диод VD2 предназначены для защиты транзистора VT1 от помех и перенапряжений. Транзистор VT1, работая в ключевом режиме, формирует на коллекторе положительные прямоугольные импульсы с амплитудой 5 В±5%. Импульсы синхронизации в течении всего времени работы печи поступают на вход T (вывод 29) микросхемы D2.

В состав схемы управления входят:

- микросхемы D1 — D5;
- диод VD1;
- транзистор VT2;
- кварцевый резонатор BQ1;
- конденсаторы C1 — C4, C7 — C10;
- резисторы R1 — R4, R8, R9, R11 — R13.

Схема управления представляет собой контроллер, основным элементом которого служит микропроцессор D2. Синхронизация работы микропроцессора осуществляется кварцевым резонатором BQ1. Рабочая частота равна 4608 КГц. В схему синхронизации входят конденсаторы C1, C2 и резистор R4. Конденсатор C3 и диод VD1 используются для формирования логического "0" в момент включения напряжения питания. Вход "RESET" (вывод 4) микросхемы D2 используется для

инициализации микропроцессора. Так как микропроцессор работает с внешней памятью, то через резистор R3 на вывод EA (вывод 7) микросхемы D2 подается напряжение +5 В±5%. Два последовательно соединенных инвертирующих элемента D1.1 и D1.2 микросхемы D1 обеспечивают работу на длинную линию. На вывод 1 элемента D1.1 микросхемы D1 через резистор R1 подается напряжение 5 В. С вывода 4 элемента D1.2 микросхемы D1 сигнал логической "1" подается на вход "INT" (вывод 6) микросхемы D2, разрешая работу микропроцессора.

При открывании дверцы микроволновой печи вывод 1 элемента D1.1 замкнувшимися контактами "С — Р" микропереключателя SA4 блокировочного устройства A5 подключается к общей шине, и на вход "INT" подается сигнал логического "0". При этом останавливается отсчет заданного времени и прекращается подача напряжения на управляющий электрод симистора A7 — V2. Подача СВЧ энергии в камеру печи прекращается.

При перегреве магнетрона транзистор VT1 схемы термореле A8 подключает вывод 1 микросхемы D1 к общей шине. Воздействие термореле на схему управления аналогично воздействию дверной блокировки.

С выхода P17 (вывод 34) микросхемы D2 поступает сигнал в схему звуковой сигнализации. Сигнал, управляющий включением магнетрона V1, поступает с выхода P73 (вывод 16) микросхемы D5 через инвертирующий элемент D1.4 микросхемы D1 на базу транзистора VT2.

Сигнал, управляющий включением электропривода через симистор A7, поступает на плату питания A8 с коллектора транзистора VT16.

Микропроцессор D2 работает по специально разработанной программе, записанной в микросхему памяти D4. Буферный регистр D3 служит для обеспечения согласованной работы микропроцессора с памятью.

**Таблица 3.9. Состояния выходов микросхемы D5**

| № выводов микросхемы A1 — D5 | Подано напряжение питания | Нажата кнопка "ВРЕМЯ" | Нажата кнопка "РЕЖИМ" | Нажата кнопка "НАГРЕВ" | Нажата кнопка "ЧАСЫ" |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 2 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 3 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 4 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 5 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 13 | 0 | 0 | 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 14 | 1 | 1 | 0 | 0; 1 | 0; 1 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 17 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 20 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 21 | 1 | 0; 1 | 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 22 | 1 | 0; 1 | 1 | 0; 1 | 0; 1 |
| 23 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 | 0; 1 |

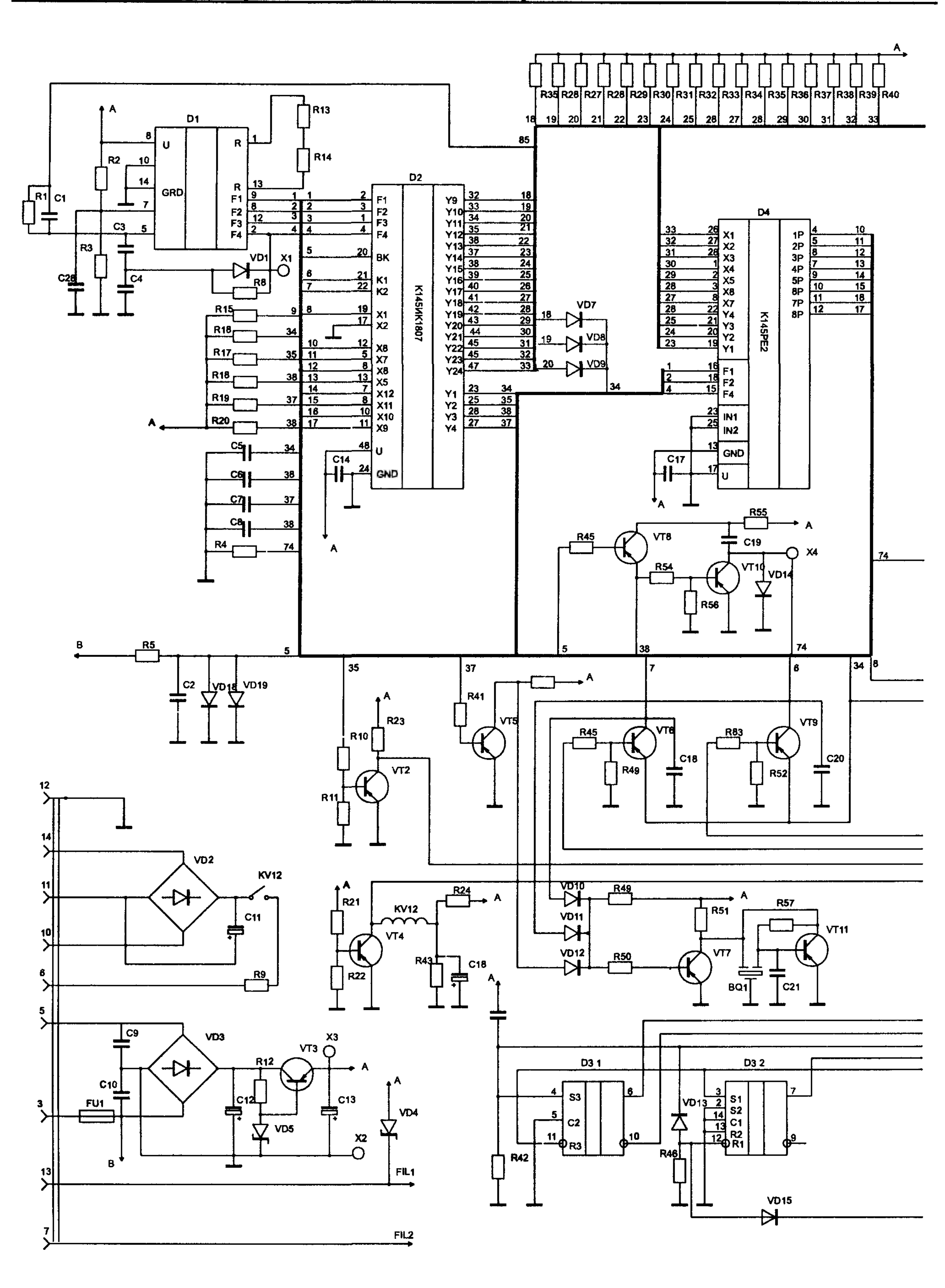
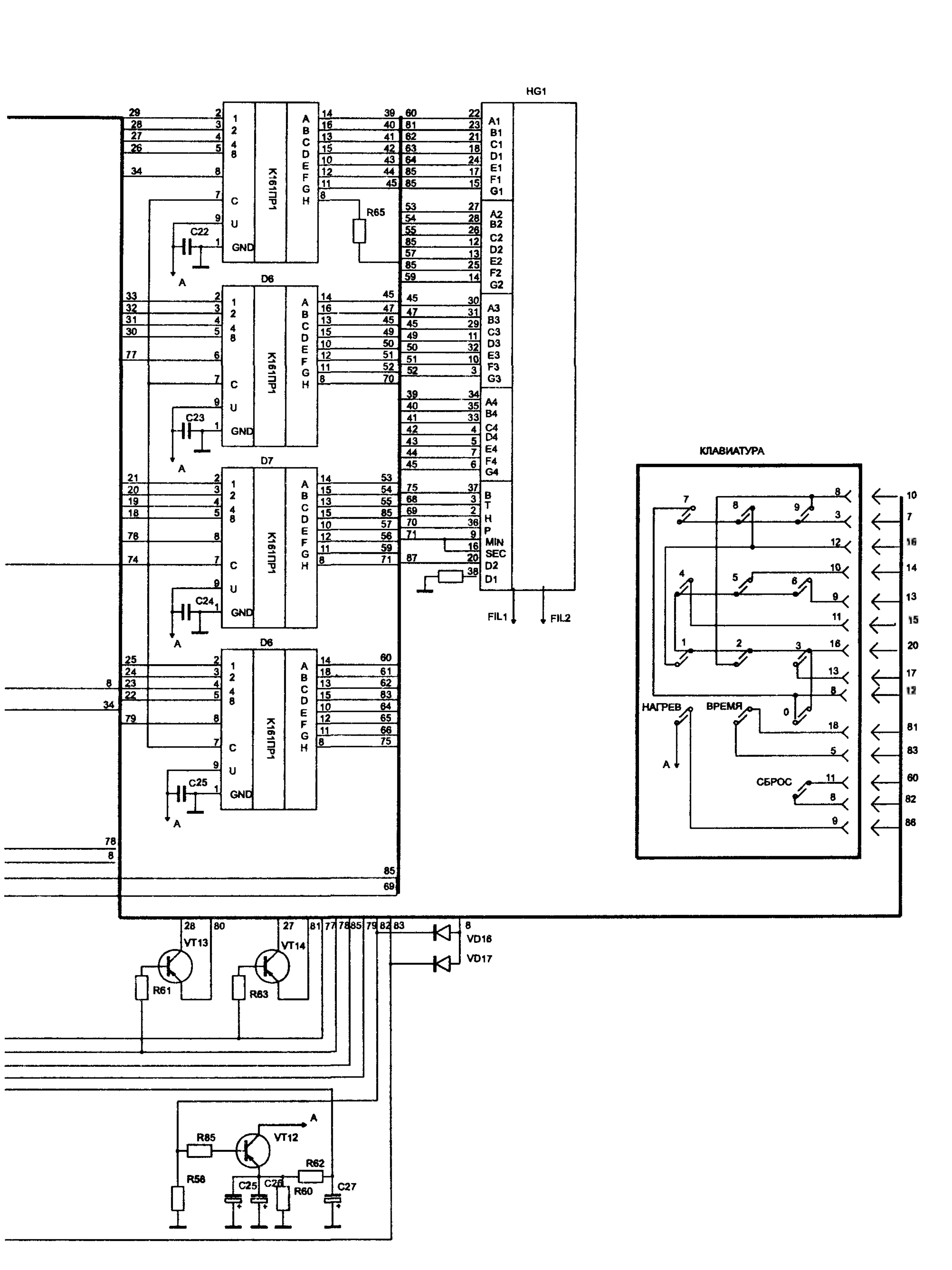


Рис. 3.6. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "Электроника СП23 ЗИЛ"


HG1
D6
D7
K161ПР1
C22
C23
C24
C25
R65
КЛАВИАТУРА
НАГРЕВ
ВРЕМЯ
СБРОС
FIL1
FIL2
VT13
VT14
VT12
R61
R63
R85
R58
R62
R60
C26
C27
VD16
VD17

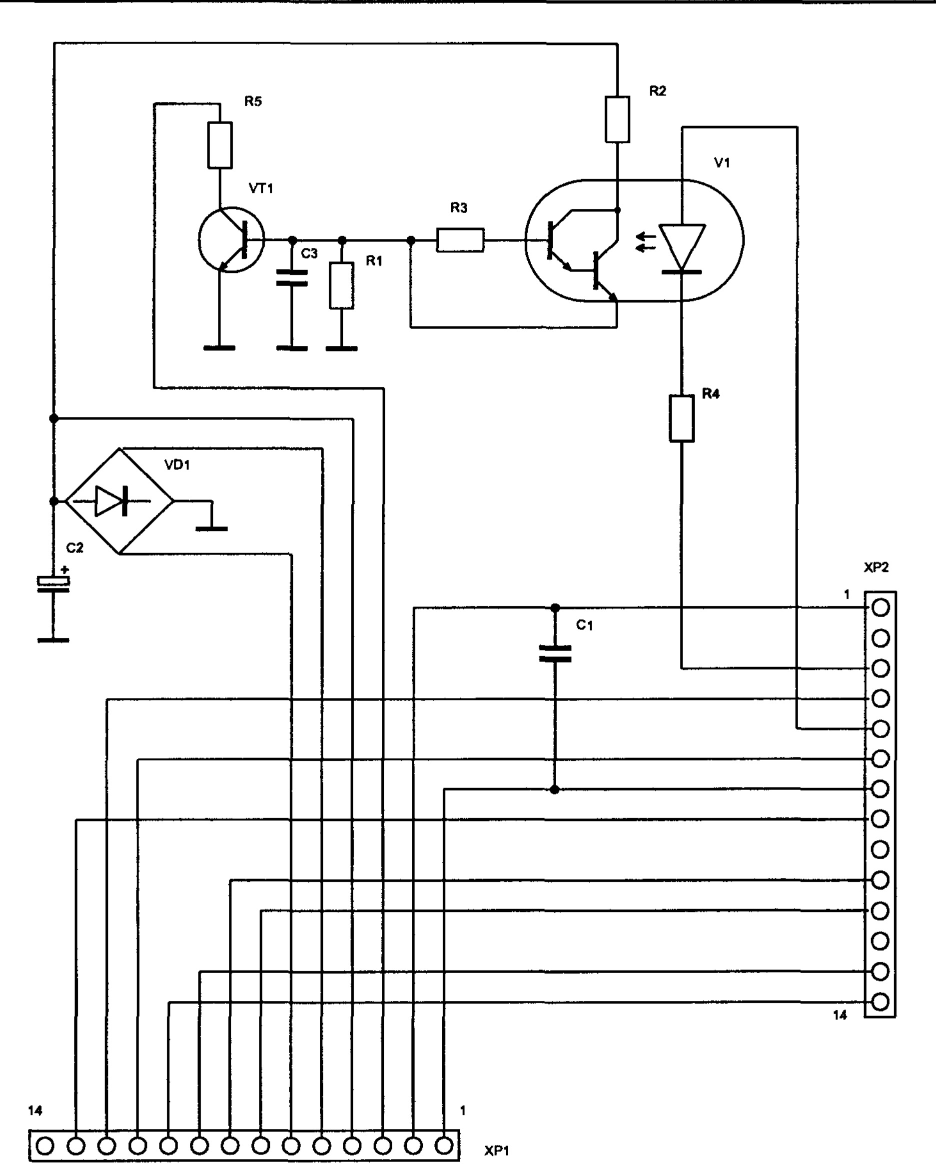



**Рис. 3.7. Принципиальная электрическая схема платы коммутации микроволновой печи "Электроника СП23 ЗИЛ"**

Для расширения числа линий вывода микропроцессора D2 служит микросхема D6. С выходов Р10 — Р16 (выводы 27 — 33) микросхемы D2 поступают сигналы, управляющие индицированием сегментов цифровых разрядов индикатора HG1.

После подачи напряжения питания микропроцессор осуществляет опрос клавиатуры, который, в свою очередь, осуществляется путем выдачи сигналов логического "0" с выходов Р40 — Р43 (выводы 2 — 5) микросхемы D5 и анализа состояния четырех входных шин Р24 — Р27 (выводы 35 — 38) микросхемы D2.

В таблице 3.9 приведены состояния выходов микросхемы D5 на различных этапах работы блока управления.

Состояние 0; 1 означает динамический режим работы;

0 — состояние логического "0" (0....0.45 В);

1 — состояние логической "1" (2.4....5 В).

Характеристики импульсных сигналов управления сетками индикатора HG1 на различных этапах работы блока управления приведены в таблице 3.10.

Схема индикации включает в себя: люминесцентный индикатор HG1, транзисторы VT3 — VT21, резисторы R14 — R52, диод VD3.

**Таблица 3.10. Характеристики импульсных сигналов управления сетками**

| № выводов микросхемы A1-D5 | Параметры | Подано напряже-ние пит. | Задан уровень мощности | Нажата кнопка “ВРЕМЯ” | Нажата кнопка “РЕЖИМ” | Отработка заданного режима |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Частота, Гц | 120 | 60 | 60 | 120 | 60 |
| | Скважность | 2 | 4/3 | 4/3 | 2 | 4/3 |
| 21 | Частота, Гц | 0 | 60 | 60 | 0 | 60 |
| | Скважность | ∞ | 4/3 | 4/3 | ∞ | 4/3 |
| 22 | Частота, Гц | 0 | 60 | 60 | 0 | 60 |
| | Скважность | ∞ | 4/3 | 4/3 | ∞ | 4/3 |
| 23 | Частота, Гц | 120 | 60 | 60 | 120 | 60 |
| | Скважность | 2 | 4/3 | 4/3 | 2 | 4/3 |

На транзисторах VT3 — VT21 и резисторах R14 — R51 выполнены транзисторные ключи, через которые микропроцессор осуществляет управление индикатором. Свечение сегментов и элементов индикатора происходит при подаче на них через резисторы R23 — R31, R42 — R52 напряжения +27 В. Диод VD3 необходим для создания напряжения смещения 1 В между катодом индикатора и общей шиной питания.

Схема звуковой сигнализации содержит: инвертирующий элемент D1.3 микросхемы D1, пьезокерамический звонок BQ2.

Прямоугольные импульсные сигналы с вывода 34 микросхемы D2 через инвертор D1.3 поступают на пьезокерамический звонок, обеспечивая подачу звукового сигнала.

Плата коммутации состоит из десяти цифровых кнопок 0 — 9 и пяти кнопок управления “ВРЕМЯ”, “РЕЖИМ”, “НАГРЕВ”, “ЧАСЫ”, “СБРОС”.

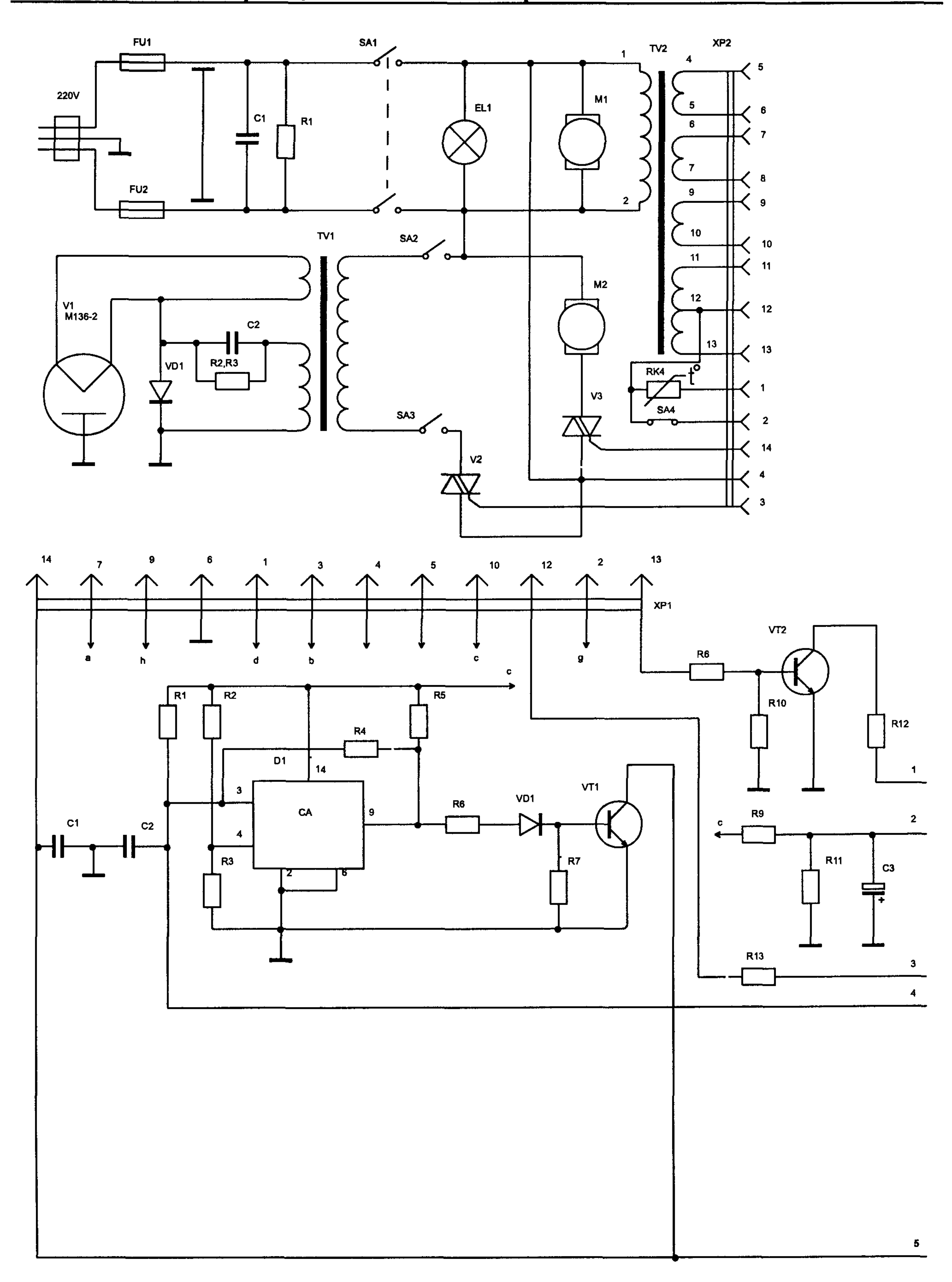
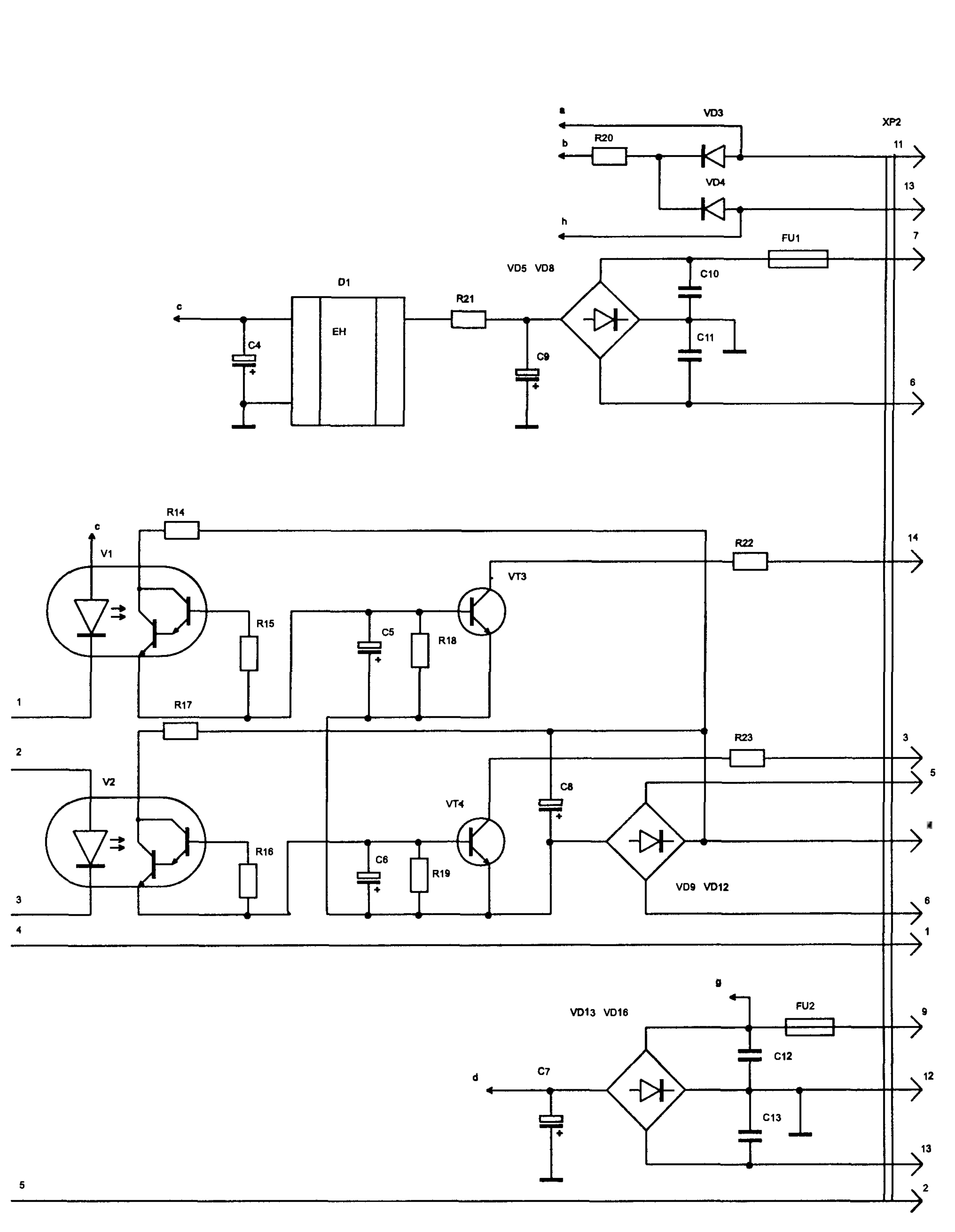



Рис. 3.8. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Электроника СП-25" и блока коммутации


a
b
h
c
d
g
R20
VD3
VD4
XP2
D1
EH
R21
VD5 VD8
FU1
C10
C11
C4
C9
R14
V1
VT3
R22
R15
C5
R18
R17
R23
V2
VT4
C8
R16
C6
R19
VD9 VD12
VD13 VD16
FU2
C7
C12
C13
1
2
3
4
5
6
7
9
11
12
13
14

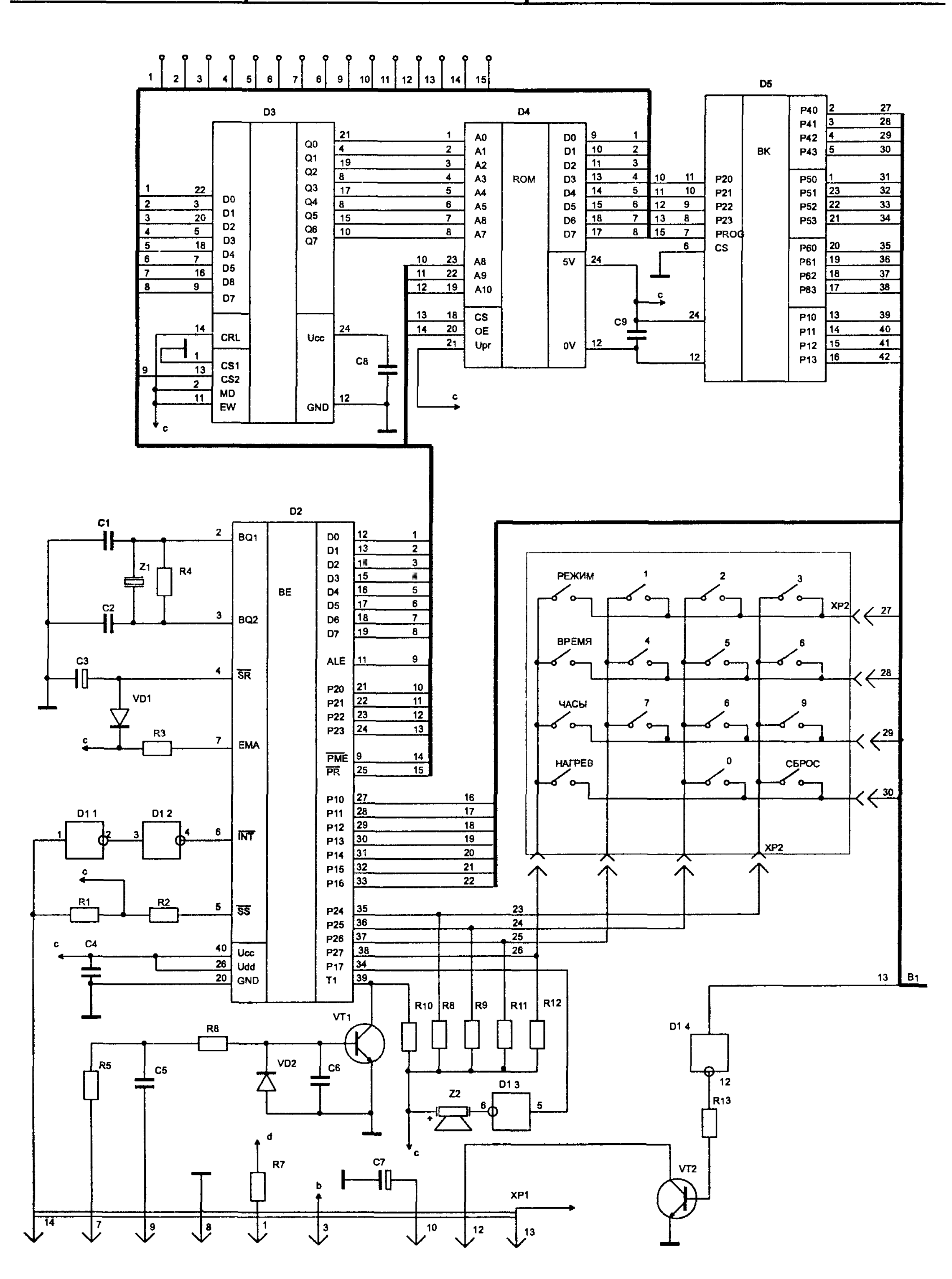



Рис. 3.9. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “Электроника СП-25”

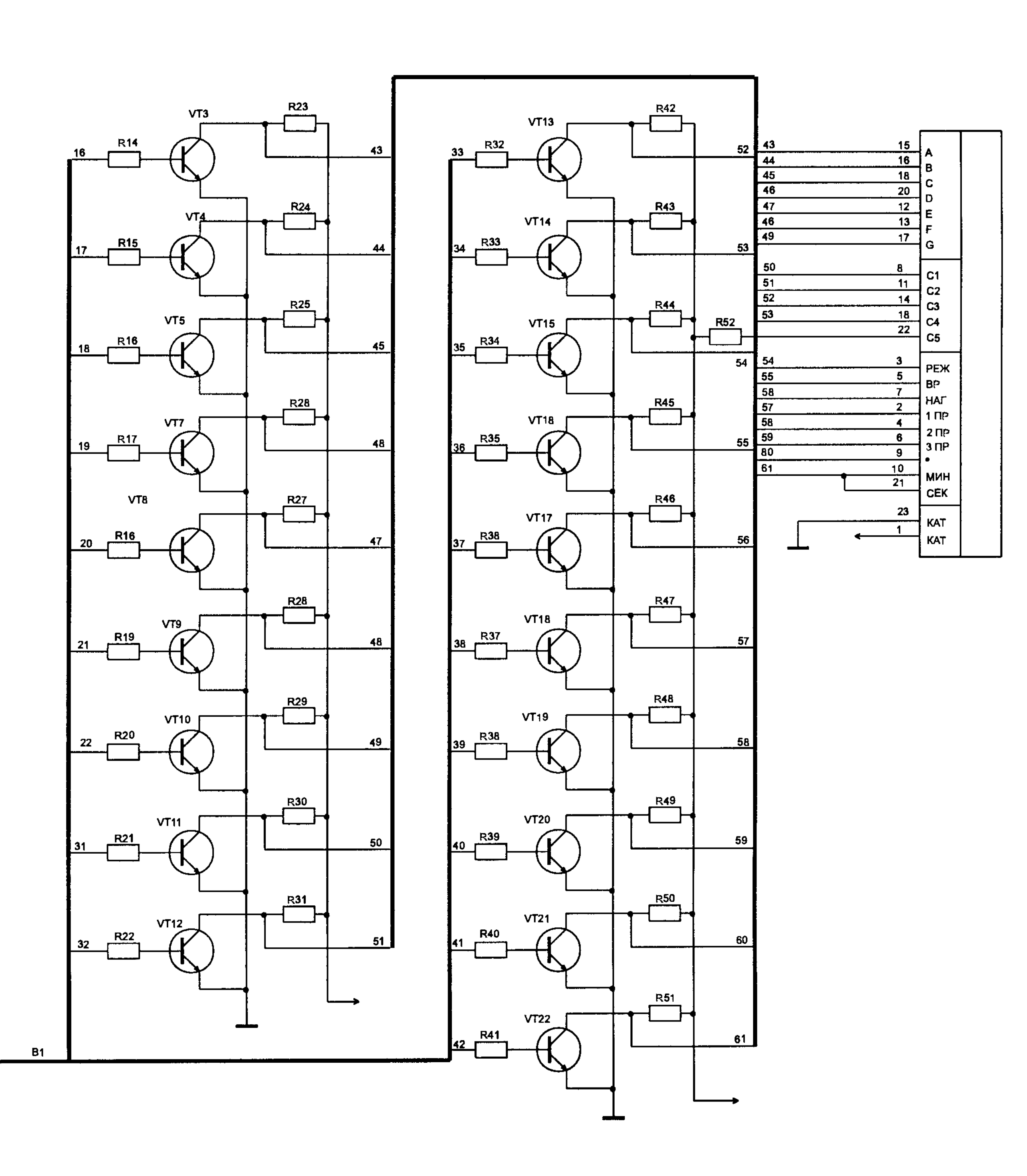

VT3
VT4
VT5
VT7
VT8
VT9
VT10
VT11
VT12
VT13
VT14
VT15
VT18
VT17
VT18
VT19
VT20
VT21
VT22
R14 R15 R16 R17 R16 R19 R20 R21 R22
R23 R24 R25 R28 R27 R28 R29 R30 R31
R32 R33 R34 R35 R38 R37 R38 R39 R40 R41
R42 R43 R44 R45 R46 R47 R48 R49 R50 R51 R52
B1
A
B
C
D
E
F
G
C1
C2
C3
C4
C5
РЕЖ
ВР
НАГ
1 ПР
2 ПР
3 ПР
МИН
СЕК
КАТ
КАТ

**Таблица 3.11. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Электроника СП-25”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| | *A1* | *Плата управления* | |
| 1 | D1 | Микросхема К155ЛН1 | |
| 2 | D2 | Микросхема КР1816ВЕ35 | |
| 3 | D3 | Микросхема К569ИР12 | |
| 4 | D4 | Микросхема КР573РФ2 | |
| 5 | D5 | Микросхема КР580ВР43 | |
| 6 | VT1, VT2 | Транзистор КТ315В | |
| 7 | VT3 — VT21 | Транзистор КТ315И | |
| 8 | VD1 | Диод КД522Б | |
| 9 | R1 | Резистор 10 К | |
| 10 | R2 | Резистор 10 К | |
| 11 | R3 | Резистор 10 К | |
| 12 | R4 | Резистор 100 К | |
| 13 | R5 | Резистор 2.2 К | |
| 14 | R6 | Резистор 510 Ом | |
| 15 | R7 | Резистор 510 Ом | |
| 16 | R8 — R13 | Резистор 10 К | |
| 17 | R14 — R52 | Резистор 20 К | |
| 18 | C1 | Конденсатор 20 пФ | |
| 19 | C2 | Конденсатор 20 пФ | |
| 20 | C3 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ, 16 В | |
| 21 | C4 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 22 | C5 | Конденсатор 2.2 нФ | |
| 23 | C6 | Конденсатор 1000 пФ | |
| 24 | C7 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ, 100 В | |
| 25 | C8 — C10 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 26 | HG1 | Люминисцентный индикатор | |
| 27 | BQ1 | Кварцевый резонатор 4608 кГц | |
| 28 | BQ2 | Пьезокерамический звонок | |

Таблица 3.11. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Электроника СП-25" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| | *А2* | *Плата коммутации* | |
| 29 | D1 | Микросхема К554СА3В | |
| 30 | D2 | Микросхема КР142ЕН5В | |
| 31 | VT1, VT2 | Транзистор КТ315В | |
| 32 | VT3, VT4 | Транзистор КТ817В | |
| 33 | VD1, VD2 | Диод КД522Б | |
| 34 | VD3 — VD12 | Диод КД209А | |
| 35 | V1, V2 | Оптрон АОТ127А | |
| 36 | R1 | Резистор 1.21 K | |
| 37 | R2 | Резистор 5.62 K | |
| 38 | R3 | Резистор 2.74 K | |
| 39 | R4 | Резистор 630 K | |
| 40 | R5, R6 | Резистор 2.7 K | |
| 41 | R7 | Резистор 20 K | |
| 42 | R8 | Резистор 430 Ом | |
| 43 | R9 | Резистор 2.7 K | |
| 44 | R10 | Резистор 20 K | |
| 45 | R11 | Резистор 100 K | |
| 46 | R12 | Резистор 620 Ом | |
| 47 | R13 | Резистор 330 Ом | |
| 48 | R14 | Резистор 1.2 K | |
| 49 | R15 | Резистор 1 M | |
| 50 | R16 | Резистор 1 M | |
| 51 | R17 | Резистор 1.2 K | |
| 52 | R18 | Резистор 10 K | |
| 53 | R19 | Резистор 10 K | |
| 54 | R20 | Резистор 10 K | |
| 55 | R21 | Резистор 3 Ом | |
| 56 | R22 | Резистор 68 Ом | |
| 57 | R23 | Резистор 47 Ом | |

Таблица 3.11. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Электроника СП-25” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 58 | C1, C2 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 59 | C3 | Конденсатор электролитический 100 мкФ, 16 В | |
| 60 | C4 | Конденсатор электролитический 100 мкФ, 16 В | |
| 61 | C5, C6 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ, 100 В | |
| 62 | C7 | Конденсатор электролитический | |
| 63 | C8, C9 | Конденсатор электролитический 470 мкФ, 25 В | |
| 64 | C10 - C13 | Конденсатор 0.068 мкФ | |
| 65 | FU1, FU2 | Предохранитель 1 А | |

## Микроволновая печь “Фея”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.10, перечень элементов блока коммутации в таблице 3.12. В качестве блока управления в печи используется блок “БУВИ-2”, рассмотренный ранее.

Таблица 3.12. Перечень элементов блока коммутации микроволновой печи “Фея”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | VD1 | Диодный мост КЦ405А | |
| 2 | VD2 | Оптосимистор ТСО 142-40-Б | |
| 3 | VT1 | Транзистор КТ315Г | |
| 4 | VT2 | Транзистор КТ817Б | |
| 5 | C1 | Конденсатор электролитический 220 мкФ, 25 В | |
| 6 | C2, C3 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 7 | R1, | Резистор 10 К | |
| 8 | R2 | Резистор 1 К | |
| 9 | R3, R4 | Резистор 24 Ом, 2 Вт | |

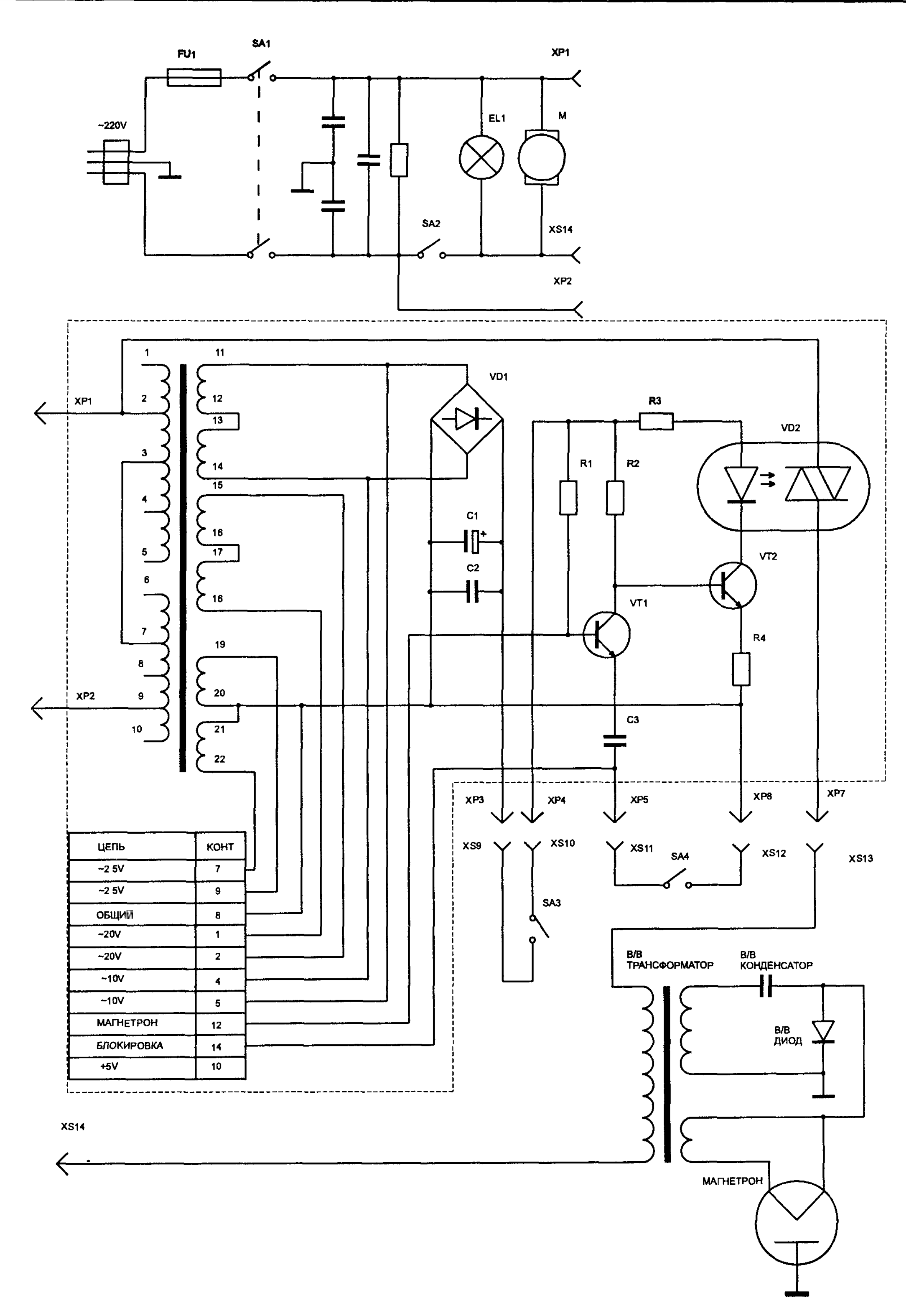



Рис. 3.10. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Фея”

## Микроволновая печь “Берегиня”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.11, блока управления на рис. 3.12, плата питания и ппата клавиатуры на рис. 3.13. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.13.

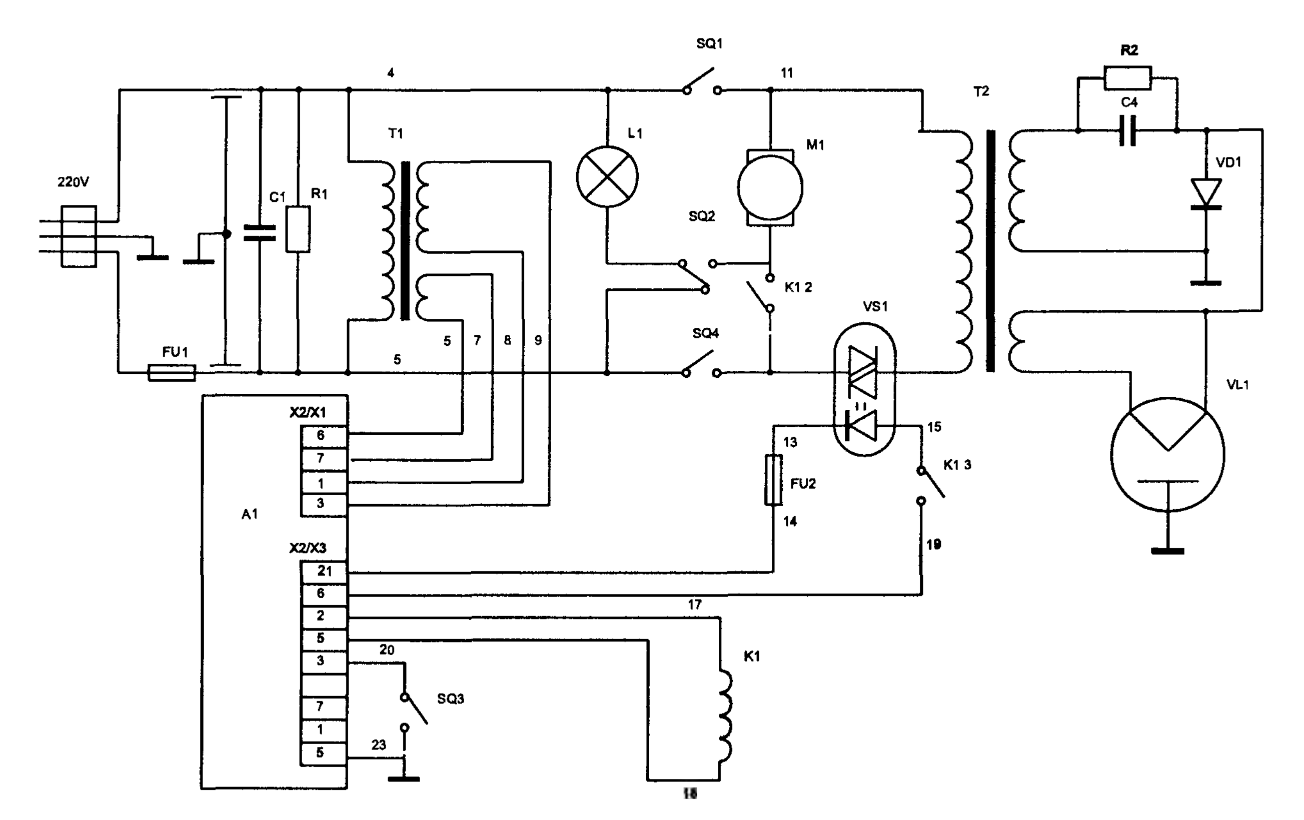
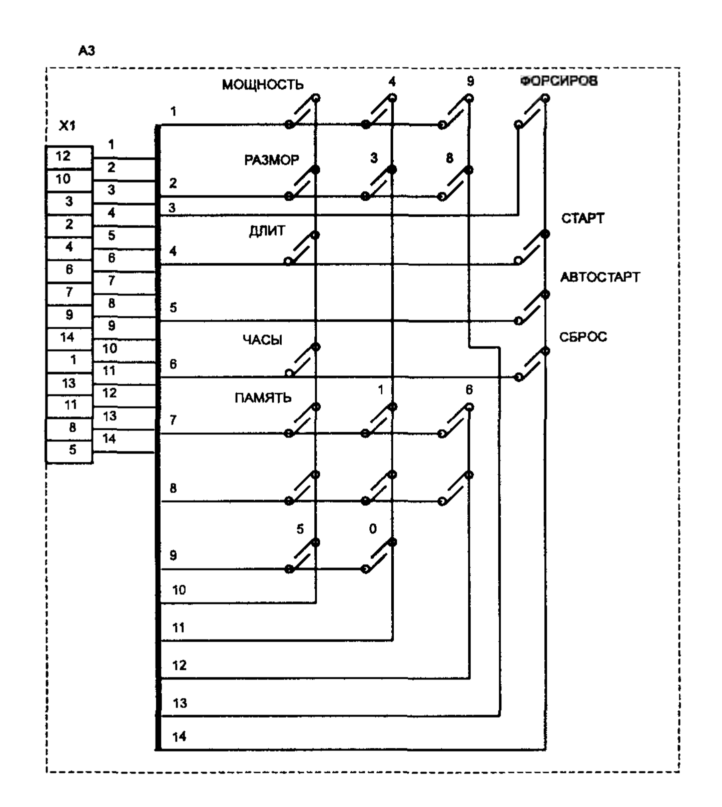



**Рис. 3.11. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Берегиня”**



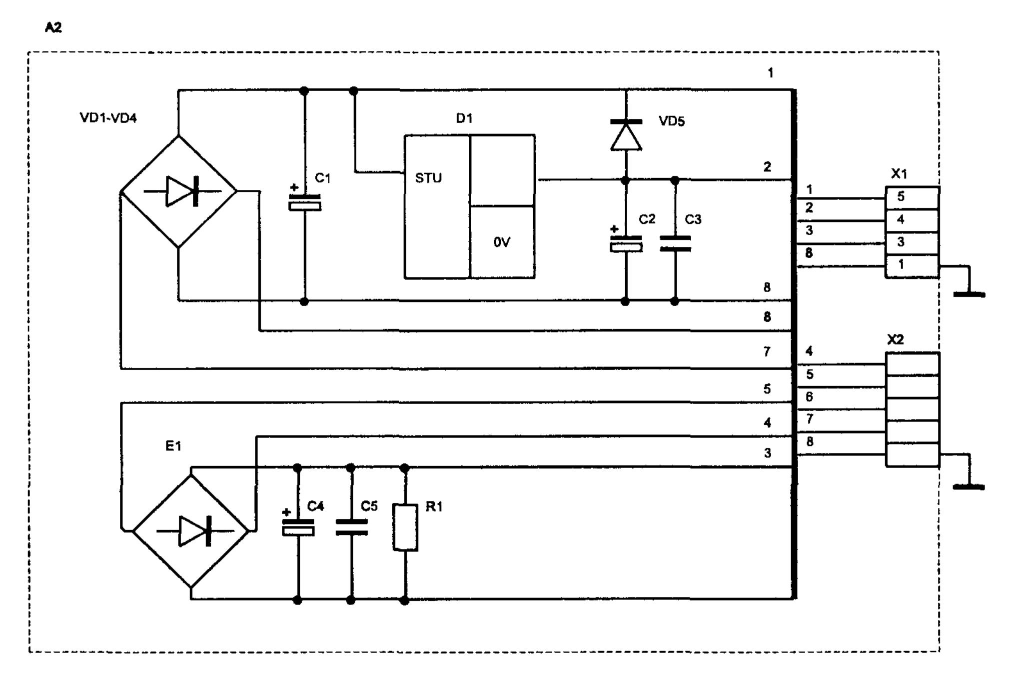




Рис. 3.12. Принципиальные электрические схемы платы питания и платы клавиатуры микроволновой печи “Берегиня”

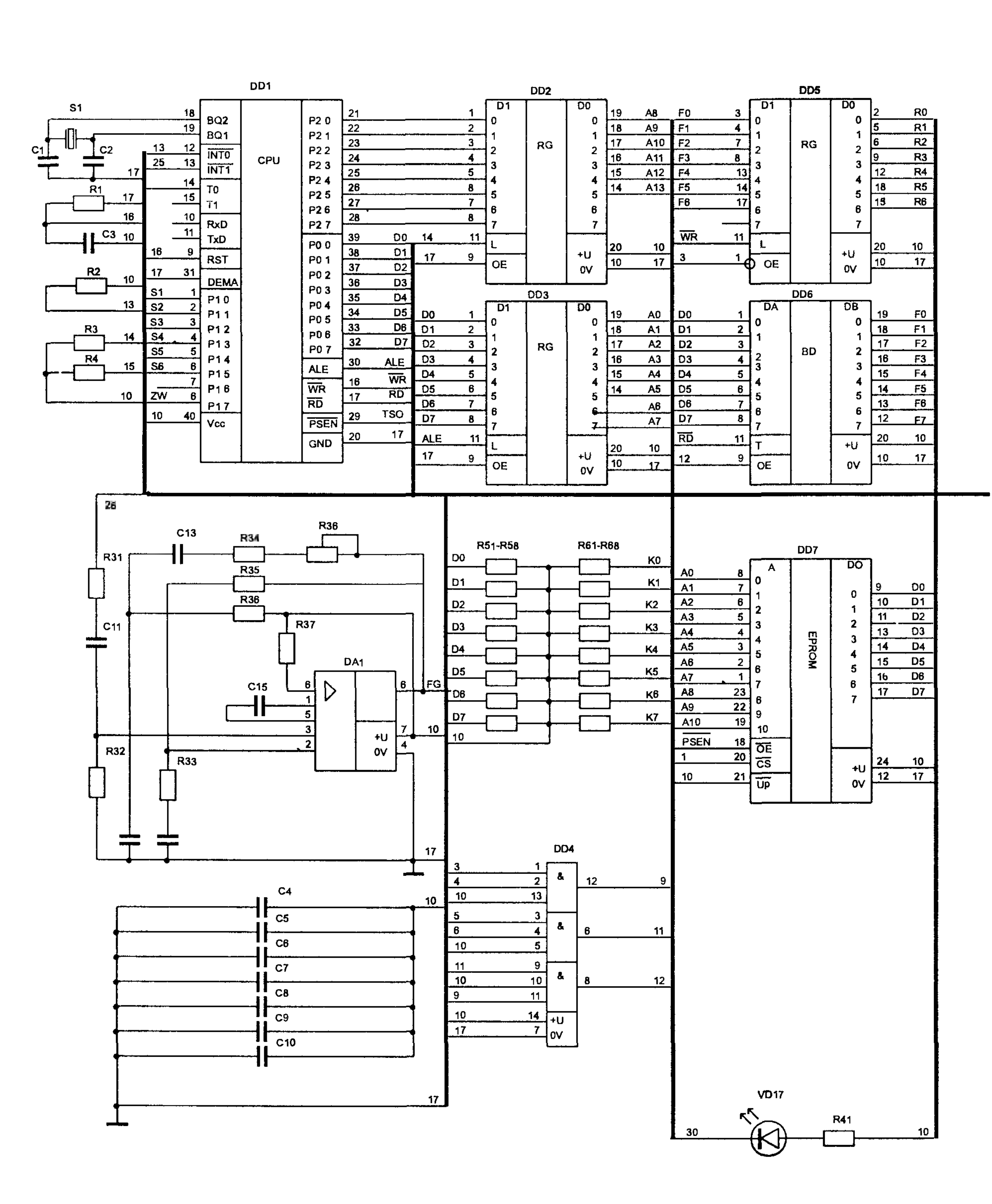


Рис. 3.13. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "Берегиня"

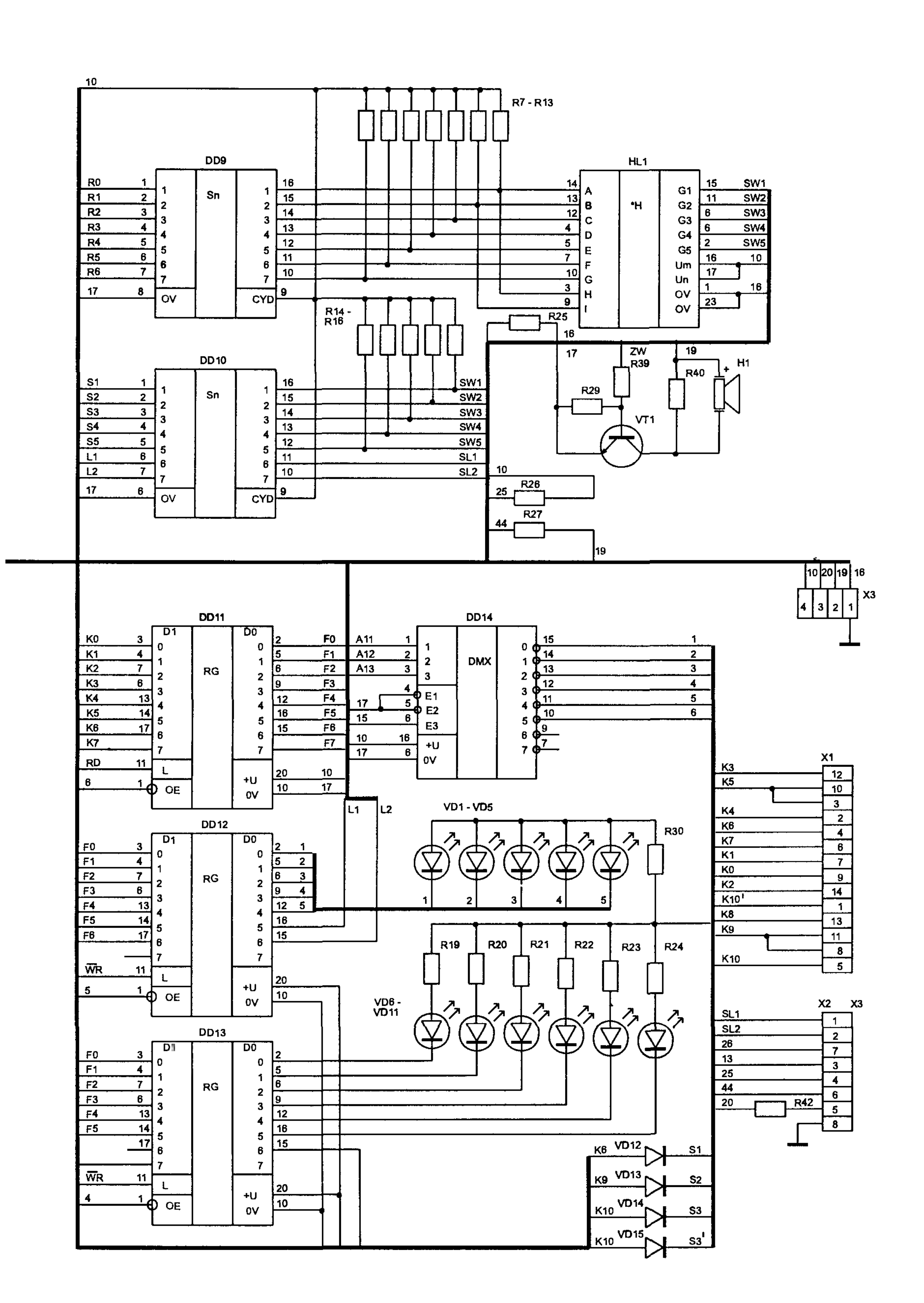

DD9
DD10
DD11
DD12
DD13
DD14
HL1
R7 - R13
R14 - R16
R25
R26
R27
R29
R30
R39
R40
R42
R19
R20
R21
R22
R23
R24
VD1 - VD5
VD6 - VD11
VD12
VD13
VD14
VD15
VT1
H1
X1
X2
X3
Sn
RG
DMX
SW1
SW2
SW3
SW4
SW5
SL1
SL2
ZW

Таблица 3.13. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Берегиня”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| | *A1* | *Пульт управления* | |
| 1 | DD1 | Микросхема КР1816ВЕ31 | |
| 2 | DD2, DD3 | Микросхема КР580 | |
| 3 | DD4 | Микросхема КМ555ЛИ3 | |
| 4 | DD5 | Микросхема К555ИР27 | |
| 5 | DD6 | Микросхема КР580ВА86 | |
| 6 | DD7, DD8 | Микросхема КС573РФ2 | |
| 7 | DD9, DD10 | Микросхема К1109КТ23 | |
| 8 | DD11 | Микросхема К555ИР22 | |
| 9 | VD1 — VD11 | Светодиод АЛ307БМ | |
| 10 | VD12 — VD15 | Диод КД522Б | |
| 11 | VD17 | Светодиод АЛ307БМ | |
| 12 | VT1 | Транзистор КТ630Б | |
| 13 | S1 | | |
| 14 | DA1 | Микросхема КР1407УД2 | |
| 15 | H1 | | |
| 16 | R1 | Резистор | |
| 17 | R2 | Резистор | |
| 18 | R3 | Резистор | |
| 19 | R4 | Резистор | |
| 20 | R51 — R58 | Резистор | |
| 21 | R61 — R68 | Резистор | |
| 22 | R7 — R18 | Резистор | |
| 23 | R19 — R24 | Резистор | |
| 24 | R25 | Резистор | |
| 25 | R26 | Резистор | |
| 26 | R27 | Резистор | |
| 27 | R29 | Резистор | |
| 28 | R30 | Резистор | |

**Таблица 3.13. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Берегиня" (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 29 | R31 | Резистор 47K | |
| 30 | R32 | Резистор 510 Ом | |
| 31 | R33 | Резистор 47K | |
| 32 | R34 | Резистор 7.5K | |
| 33 | R35 | Резистор 24K | |
| 34 | R36 | Резистор 56K | |
| 35 | R37 | Резистор 510 Ом | |
| 36 | R38 | Резистор 3.3K | |
| 37 | R39 | Резистор | |
| 38 | R40 | Резистор | |
| 39 | R41 | Резистор 360 Ом | |
| 40 | R42 | Резистор | |
| 41 | C1, C2 | Конденсатор K10-7B M750 47 пФ | |
| 42 | C3 | Конденсатор K50-35-25B 22 мкФ | |
| 43 | C4 — C10 | Конденсатор K10-7B-H90 0.068 мкФ | |
| 44 | C11 | Конденсатор K50-35-63B 10 мкФ | |
| 45 | C12 | Конденсатор K22-5 430 Пф | |
| 46 | C13 | Конденсатор K22-5 68 Пф | |
| 47 | C14 | Конденсатор K10-7B-H90 0.068 мкФ | |
| 48 | C15 | Конденсатор K22-5 2200 Пф | |
| 49 | X1 | Розетка ОНП-СГ-83-14/42-6,5-Р55 | |
| 50 | X2 | Вилка СНП 40-8Б | |
| 51 | X3 | Вилка СНП 40-5Б | |
| | *A2* | *Плата питания* | |
| 52 | D1 | Микросхема КР142ЕН5А | |
| 53 | VD1 — VD4 | Диод КД226А | |
| 54 | VD5 | Диод КД105А | |
| 55 | E1 | Диодный мост КЦ407А | |
| 56 | R1 | Резистор 15 K | |

Таблица 3.13. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Берегиня" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 57 | C1 | Конденсатор К50-35-16В 4700 мкФ | |
| 58 | C2 | Конденсатор К50-35-16В 100 мкФ | |
| 59 | C3 | Конденсатор К73-17-250В 0.22 мкФ | |
| 60 | C4 | Конденсатор К50-35-63В 470 мкФ | |
| 61 | C5 | Конденсатор К73-17-250В 0.22 мкФ | |
| 62 | X1 | Розетка СНП40-5Р | |
| 63 | X2 | Вилка СНП40-8В | |

## Микроволновые печи "Мрия", "Эмита" (без гриля)

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис.3.14. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.14, характерные неисправности в таблице 3.15.

Определенную спожность представляет разборка печи, при попытке добраться до блока управления. Для этого нужно снять кожух, вывернуть винты крепящие переднюю панель к корпусу, снять ручки с панели управления и затем при полностью открытой дверце снять переднюю панель.

Таблица 3.14. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Мрия"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | D1 | Микросхема К561ЛА7 | |
| 2 | VT1 | Транзистор КТ3102Е | |
| 3 | VT2 | Транзистор КТ117Г | |
| 4 | VS1 | Симистор ТС122-25-5-1 | |
| 5 | VD1, VD2 | Диод КД105Б | |
| 6 | VD5, VD6 | Диод КД522Б | |
| 7 | VD3, VD4 | Стабилитрон Д814Д | |
| 8 | R1 | Резистор 56 K | |
| 9 | R2 | Резистор 510 K | |
| 10 | R3, R4 | Резистор 68 K | |
| 11 | R5 | Резистор 4.7 K | |
| 12 | R6 | Резистор 100 Ом | |
| 13 | R7 | Резистор 51 Ом | |

Таблица 3.14. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Мрия" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 14 | R8 | Резистор 10 Ом | |
| 15 | R9 | Резистор 100 Ом, 2 Вт | |
| 16 | C1 | Конденсатор электролитический 50 мкФ, 25 В | |
| 17 | C2 | Конденсатор 10 мкФ, 63 В | |
| 18 | C3, C4 | Конденсатор 0.47 мкФ | |
| 19 | C5 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 20 | C6 | Конденсатор 0.1 мкФ, 630 В | |

Таблица 3.15. Характерные неисправности блока управления микроволновой печи "Мрия"

| № п/п. | Перечень характерных неисправностей. | Возможные причины неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1 | Нет нагрева | 1. Вышел из строя переменный резистор "POWER", расположенный на панели управления<br>2. Не включается один из микропереключателей |

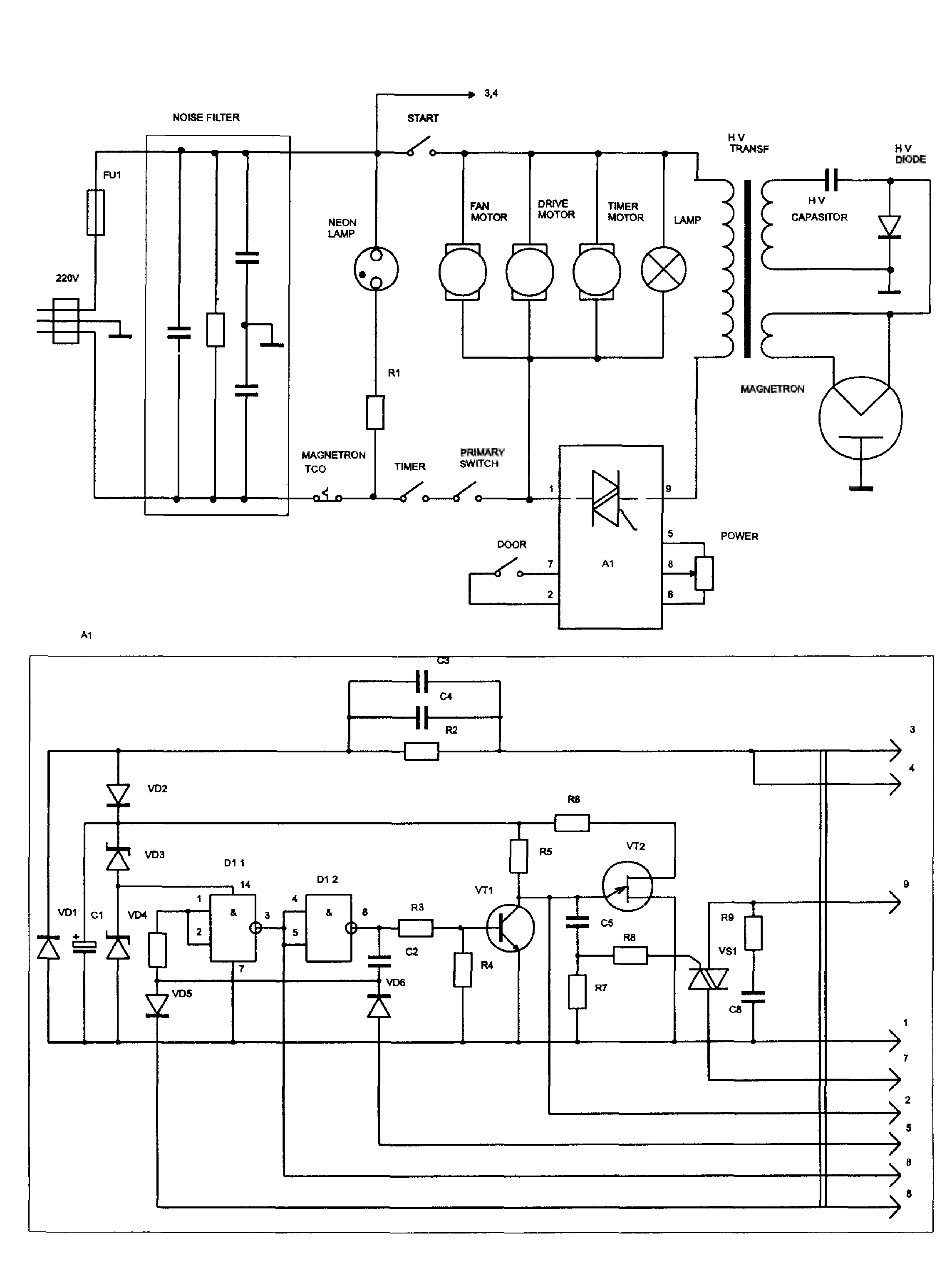



Рис. 3.14. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Мрия”

# Микроволновые печи “Эмита” (с грилем), “Юкон”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.15

Характерной неисправностью данной микроволновой печи является перегорание предохранителя FU2, при отсутствии для этого достаточных оснований. При этом гриль будет функционировать нормально, а микроволнового нагрева не будет. Если такое произошло с Вашей печью, вы безболезненно можете увеличить номинал предохранителя с 1 А до 2 А. При этом, свои основные функции он будет выполнять столь же успешно, но перестанет перегорать по недоразумению.

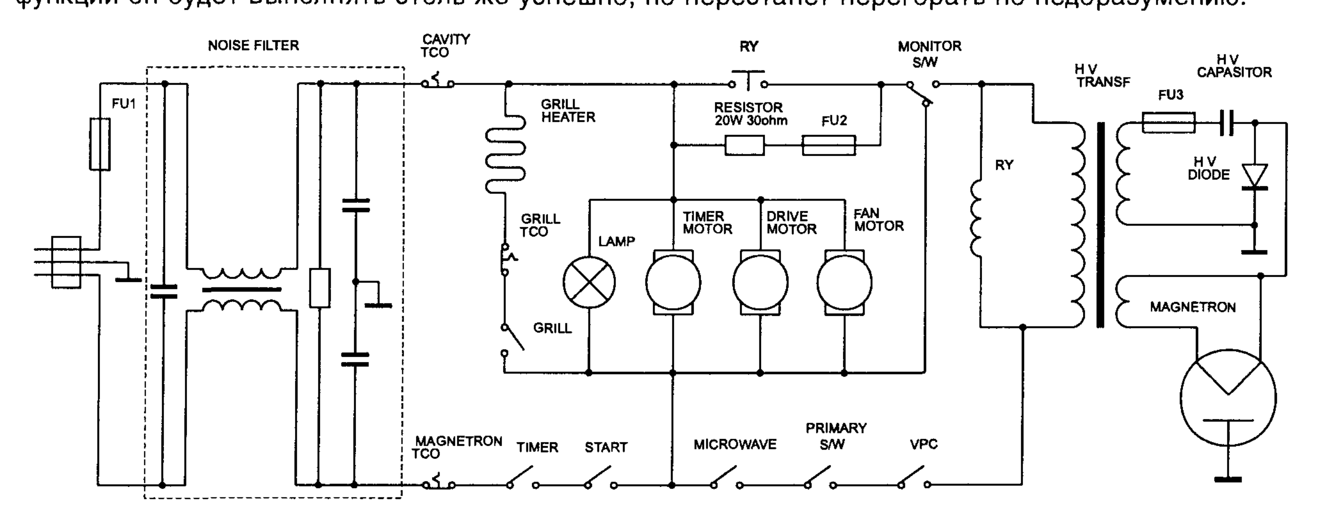



**Рис. 3.15. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Эмита”**

# Микроволновая печь “Лена”

Силовая часть печей “Лена” и рассматриваемых далее печей “Мила” значительно отличается от установившегося стандарта, поэтому рассмотрим ее более подробно.

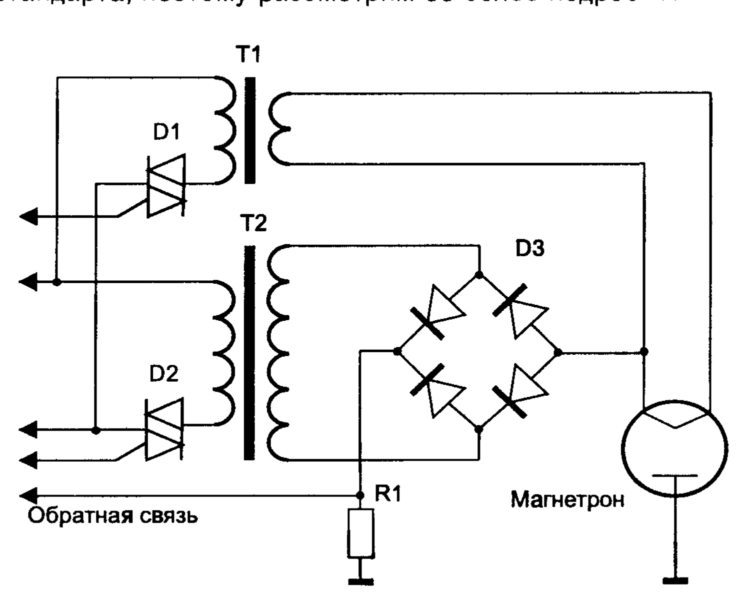



**Рис. 3.16. Принципиальная электрическая схема высоковольтного блока питания микроволновой печи “Лена”**

Основное отличие заключается в том, что вместо схемы удвоения используется выпрямительный диодный мост D3 (рис. 3.16). Это приводит к тому, что магнетрон работает в оба полупериода сетевого напряжения. Чтобы не допустить, при этом, удвоения мощности, на которое магнетрон не рассчитан, симистор D2 работает в режиме фазовой регулировки мощности, отсекая часть каждого из полупериодов. Однако уровень задаваемой мощности, регулируется не фазовым сдвигом, а за счет ее ступенчатого изменения, как и в остальных конструкциях печей.

Высоковольтный диодный мост соединен с общей шиной через резистор R1, с которого в схему управления поступает сигнал обратной связи. Накал на магнетрон подается от отдельного накального трансформатора T1 (исключение составляют некоторые первых модели, в которых накальная обмотка располагалась на силовом трансформаторе). Поскольку высокое напряжение со вторичной обмотки трансформатора в дальнейшем не удваивается, как обычно, оно изначально имеет более высокое значение. Поэтому трансформаторы данного типа печей не могут быть заменены на трансформаторы от печей других типов.

В процессе производства печь постоянно модернизировалась, не меняя названия. Поэтому конечный вариант заметно отличается от исходного. В связи с этим, приводятся два варианта конструкции: один из первых и один из последних. Принципиальная электрическая схема последнего варианта печи представлена на рис. 3.17. Блок управления состоит из платы управления A3 (рис. 3.18), платы коммутации A4 (рис. 3.19) и платы клавиатуры и индикации A1 (рис. 3.20). Начальный вариант представлен схемой печи (рис. 3.21) и платой коммутации (рис. 3.22). Остальной части блока управления модернизация не коснулась. Перечень компонентов платы управления приведен в таблице 3.16, а платы коммутации в таблице 3.17. Список характерных неисправностей приведен в таблице 3.18.

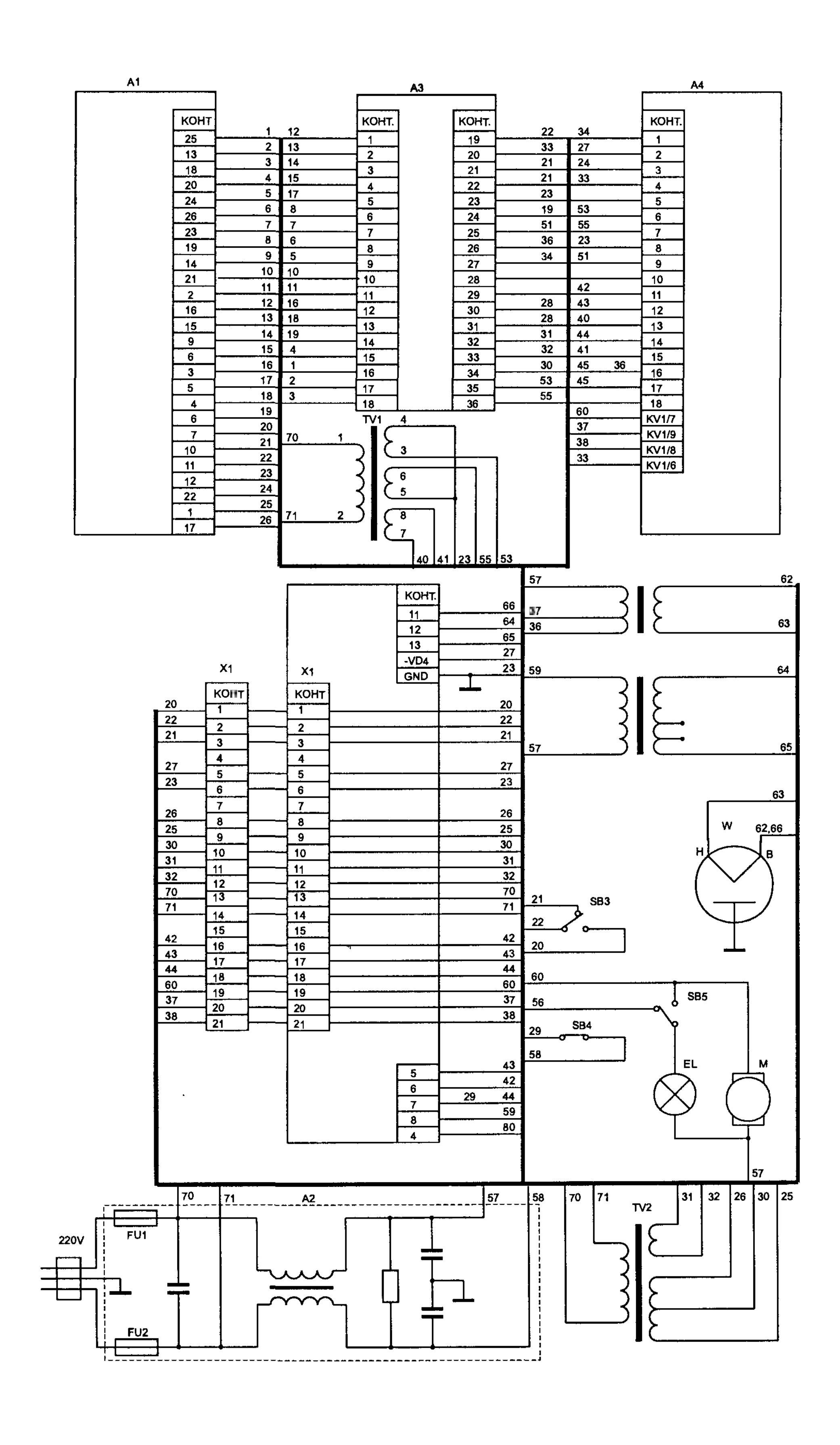


Рис. 3.17. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Лена" (последний вариант)

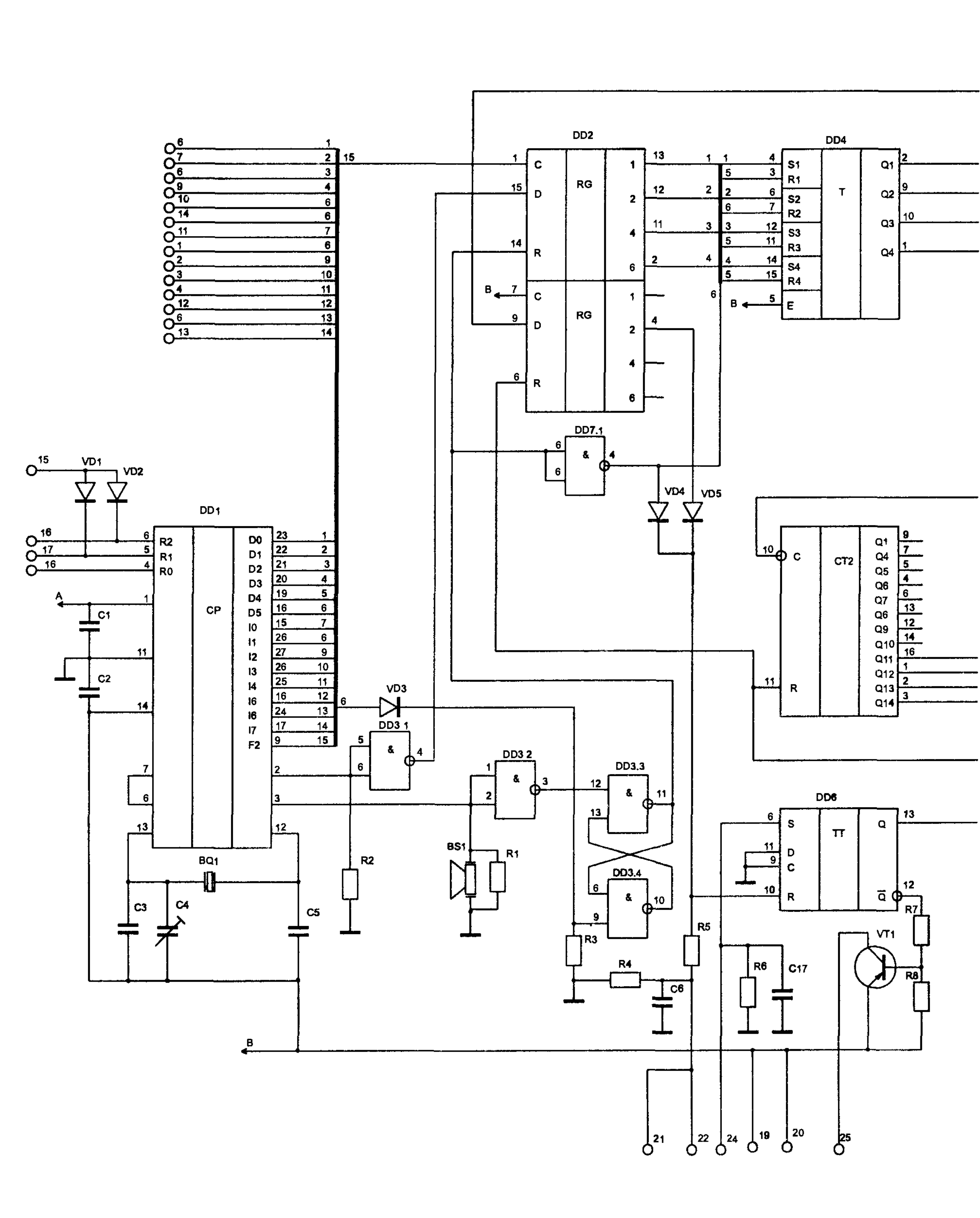
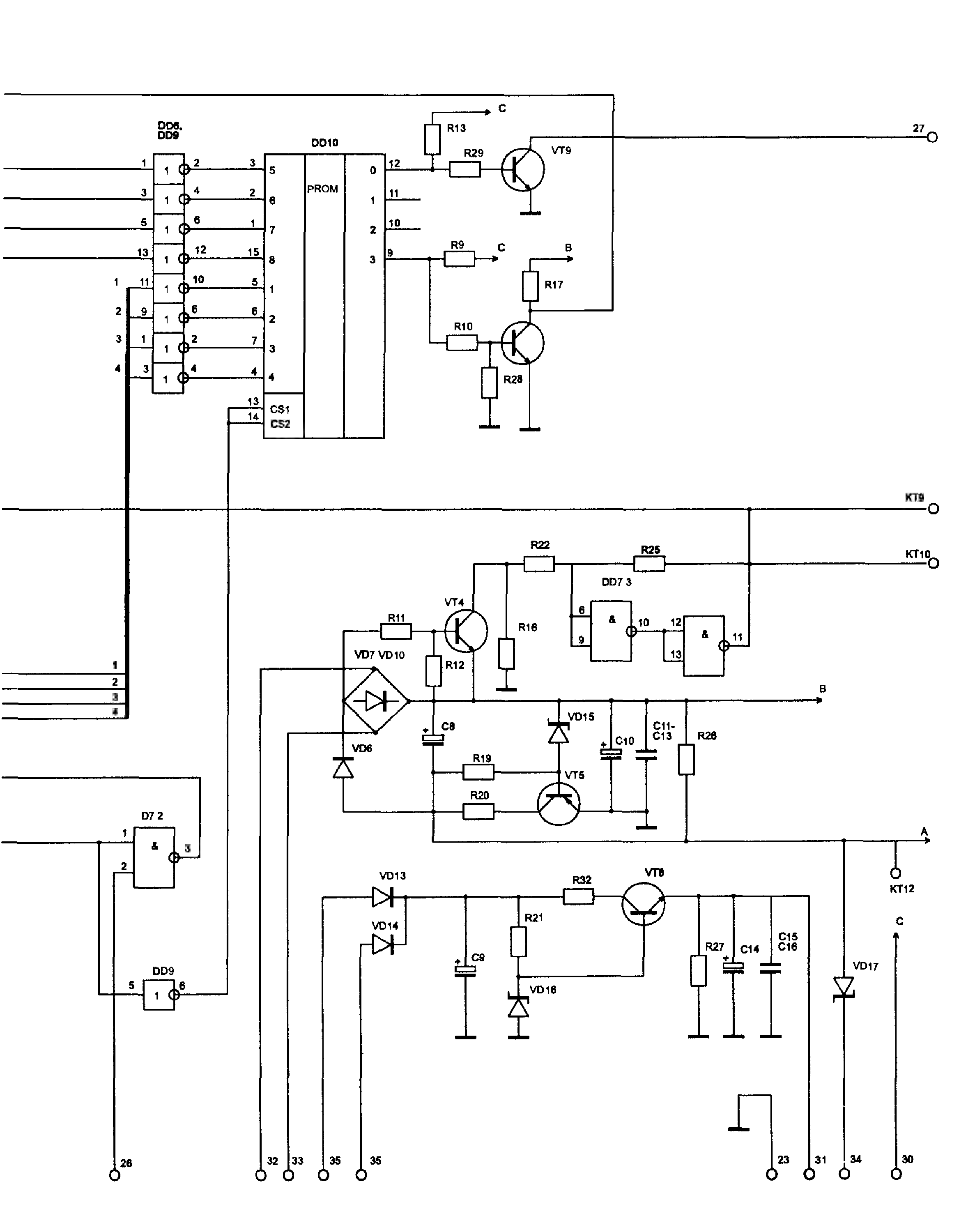



Рис. 3.18. Принципиальная электрическая схема платы управления микроволновой печи “Лена”


DD6, DD9
DD10
PROM
CS1
CS2
R13
R29
VT9
R9
R17
R10
R28
R22
R25
DD7 3
VT4
R11
R16
R12
VD7 VD10
VD6
C8
R19
R20
VD15
VT5
C10
C11-C13
R26
D7 2
DD9
VD13
VD14
R32
VT8
R21
C9
VD16
R27
C14
C15 C16
VD17
KT9
KT10
KT12
27
26
32
33
35
35
23
31
34
30

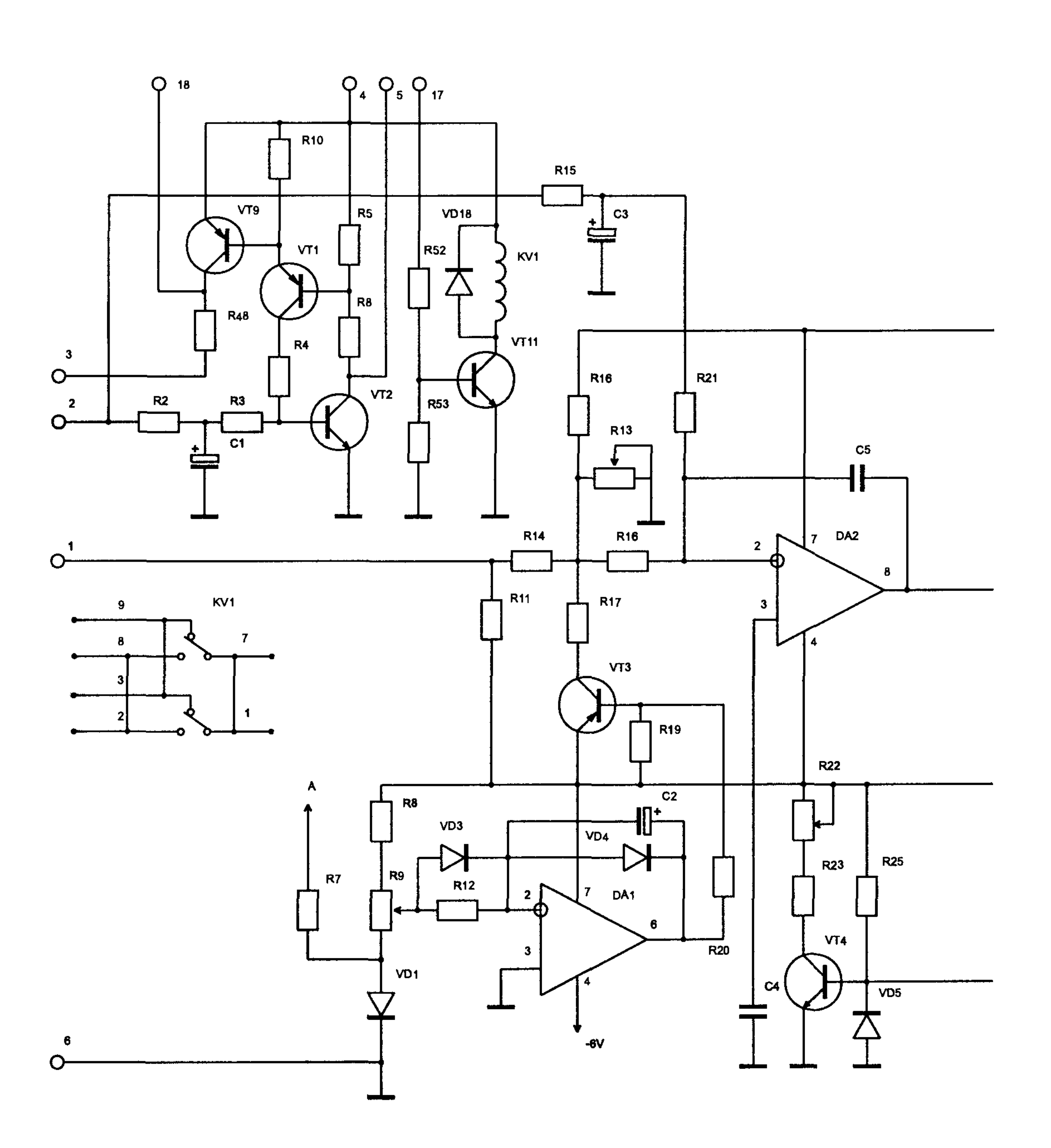
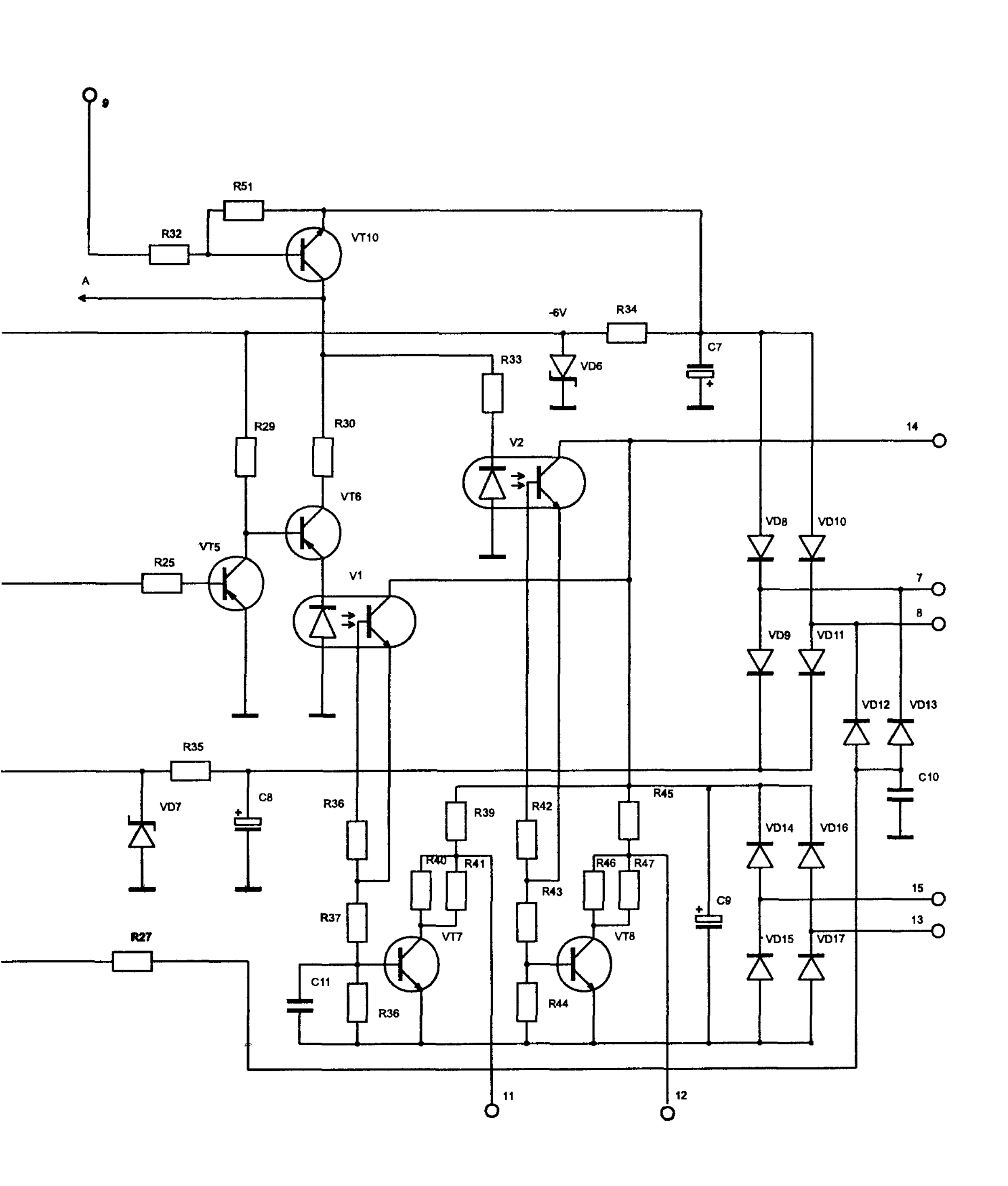



Рис. 3.19. Принципиальная электрическая схема платы коммутации микроволновой печи "Лена" (последний вариант)



9
R51
R32
VT10
A
-6V
R34
R33
VD6
C7
R29
R30
14
V2
VT6
VD8
VD10
VT5
R25
V1
7
8
VD9
VD11
VD12
VD13
R35
C10
R36
R39
R42
R45
VD7
C8
VD14
VD16
R40
R41
R46
R47
R43
C9
15
R37
VT7
VT8
13
R27
VD15
VD17
C11
R36
R44
11
12

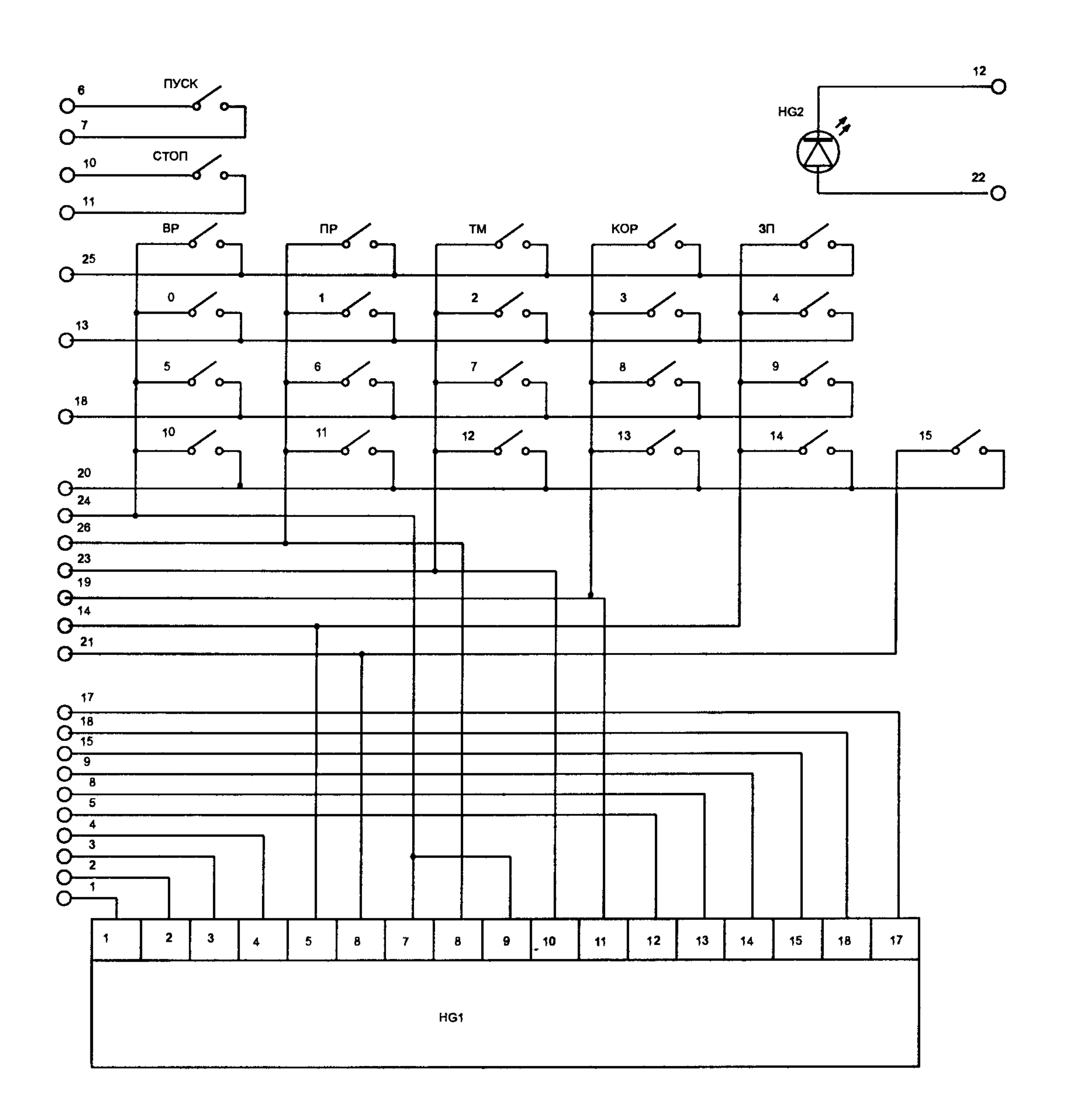



Рис. 3.20. Принципиальная электрическая схема платы клавиатуры и индикации микроволновой печи “Лена”

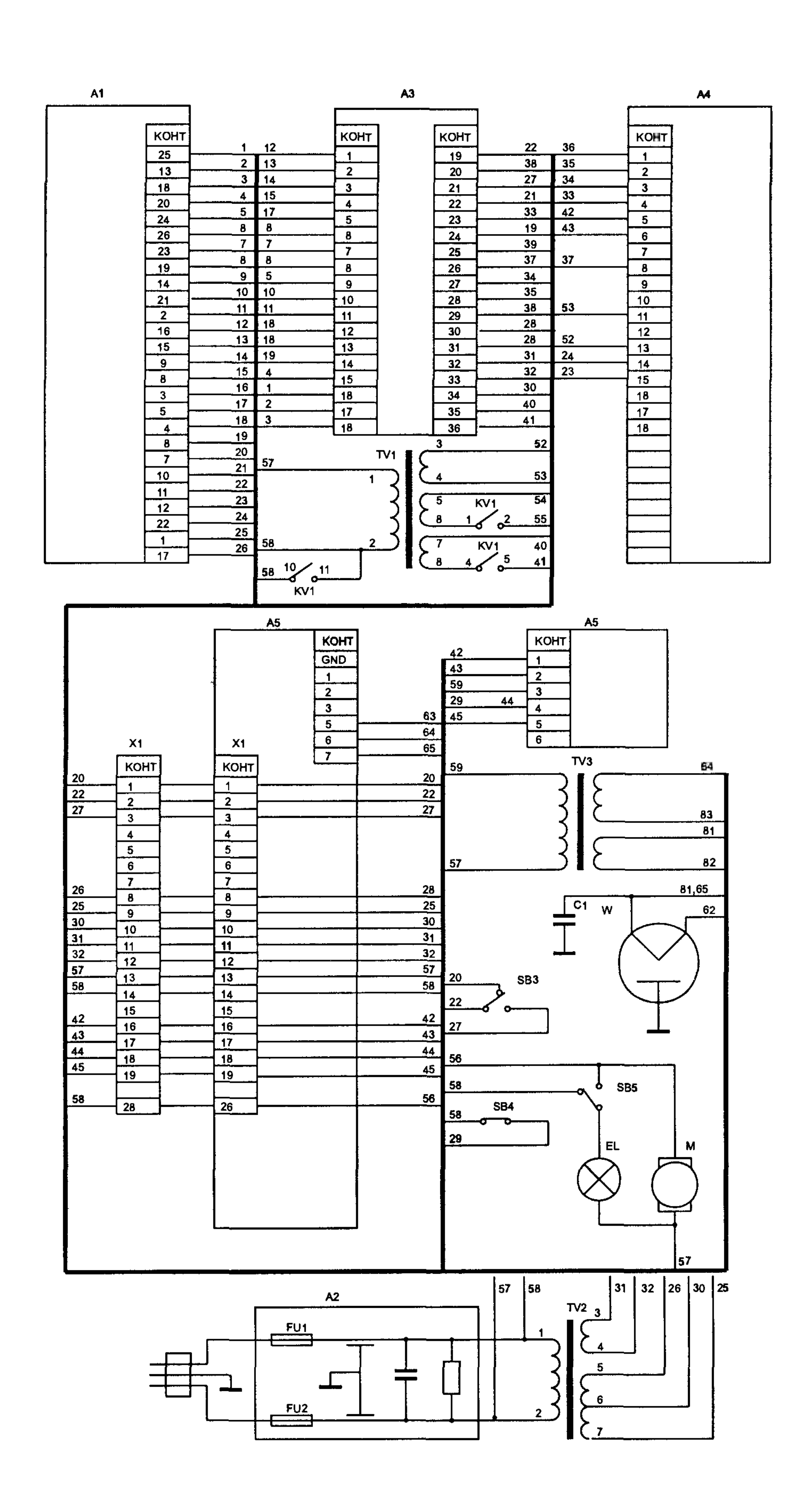



**Рис. 3.21. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “Лена” (ранний вариант)**

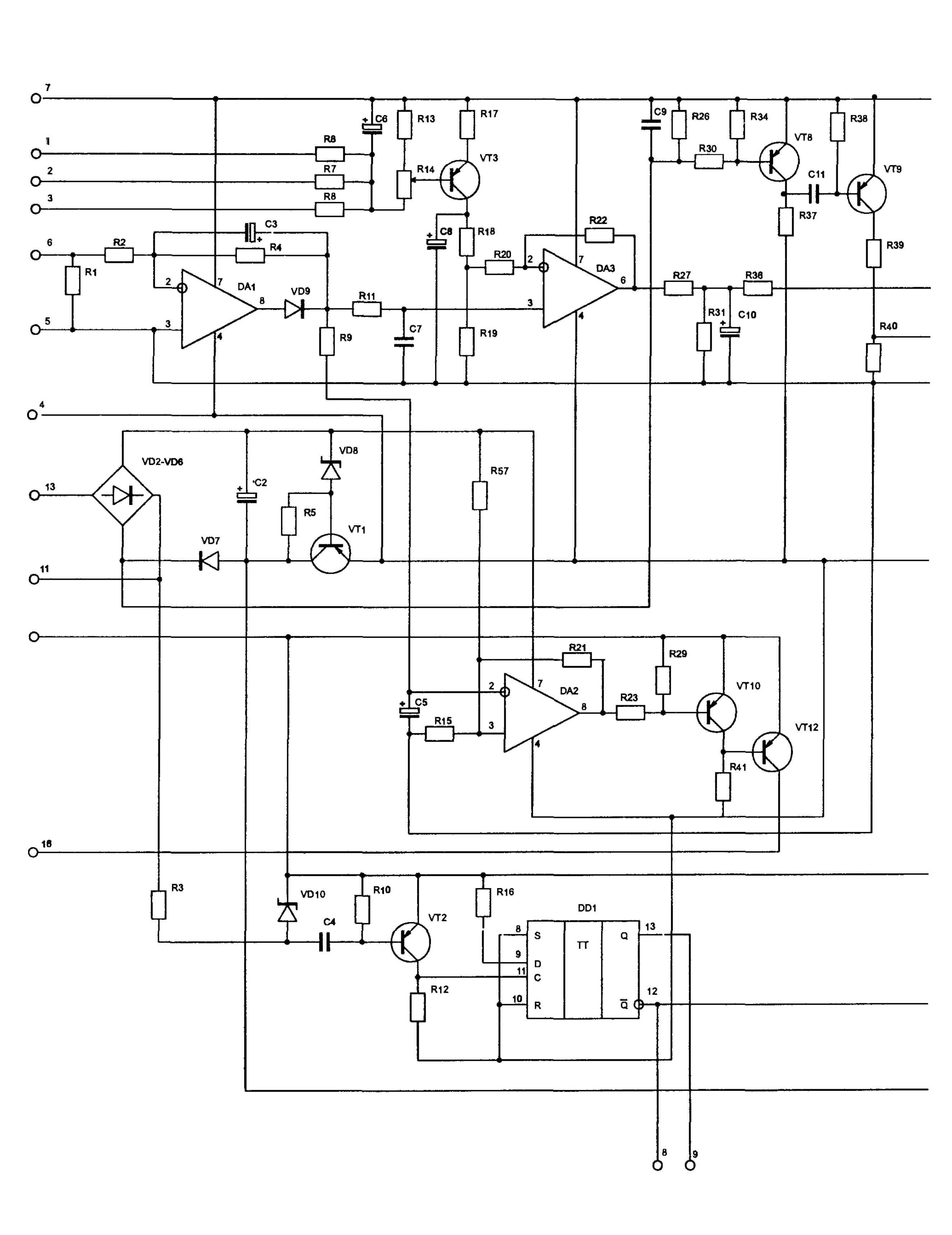



Рис. 3.22. Принципиальная электрическая схема платы коммутации микроволновой печи “Лена” (ранний вариант)

R42
VD14
R43
DA5
3
8
C14
VD15
R49
R54
22
VT14
6
R48
21
R53
R55
2
5
7
DA4
6
R44
VT13
R50
R52
VT15
3
4
VT11
C12
R47
R51
26
25
VD16-VD19
R43
R45
C15
23
24
19
VD20
KV1
20

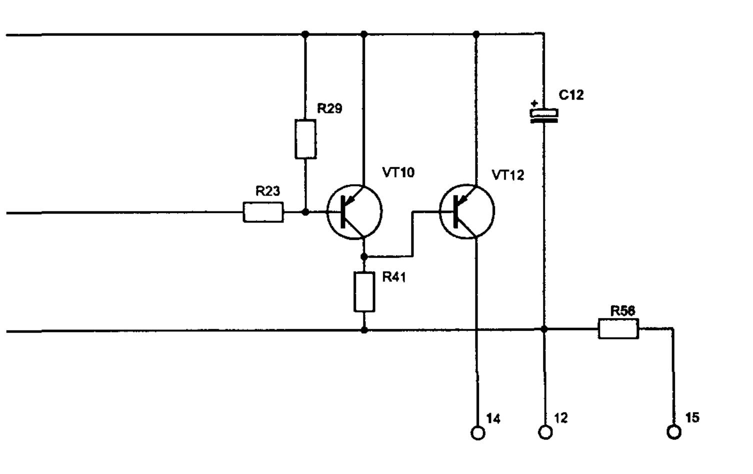


Таблица 3.16. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “Лена”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | DD1 | Микросхема КР1016ВИ1 | |
| 2 | DD2 | Микросхема К561ИР2 | |
| 3 | DD3 | Микросхема К561ЛА7 | |
| 4 | DD4 | Микросхема К561ТР2 | |
| 5 | DD5 | Микросхема К561ИЕ16 | |
| 6 | DD6 | Микросхема К561ТМ2 | |
| 7 | DD7 | Микросхема К561ЛА7 | |
| 8 | DD8, DD9 | Микросхема К561ЛН2 | |
| 9 | DD10 | Микросхема К556РТ4А | |
| 10 | VT1 | Транзистор КТ209К | |
| 11 | VT3 | Транзистор КТ315Б | |
| 12 | VT4 | Транзистор КТ361Г | |
| 13 | VT5 | Транзистор КТ814Б | |
| 14 | VT8 | Транзистор КТ817Б | |
| 15 | VT9 | Транзистор КТ3102АМ | |
| 16 | VD1 — VD5 | Диод КД522Б | |
| 17 | VD6 — VD14 | Диод КД105Б | |
| 18 | VD15 | Стабилитрон КС212Ж | |
| 19 | VD16 | Стабилитрон КС156А | |
| 20 | VD17 | Стабилитрон КС147А | |
| 21 | R1 | Резистор 8.2 К | |
| 22 | R2, R3 | Резистор 43 К | |
| 23 | R4 | Резистор 100 К | |
| 24 | R5 | Резистор 3.3 К | |
| 25 | R6 | Резистор 510 К | |
| 26 | R7 | Резистор 20 К | |
| 27 | R8 | Резистор 10 К | |
| 28 | R9 | Резистор 3 К | |
| 29 | R10 | Резистор 2 К | |
| 30 | R11 | Резистор 15 К | |

**Таблица 3.16. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “Лена” (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 31 | R12 | Резистор 10 К | |
| 32 | R13 | Резистор 3 К | |
| 33 | R17, R18 | Резистор 7.5 К | |
| 34 | R19 | Резистор 2.7 К | |
| 35 | R20 | Резистор 51 Ом | |
| 36 | R21 | Резистор 820 Ом | |
| 37 | R22 | Резистор 51 К | |
| 38 | R25 | Резистор 510 К | |
| 39 | R26 | Резистор 20 К | |
| 40 | R27 | Резистор 10 К | |
| 41 | R28 | Резистор 3 К | |
| 42 | R29 | Резистор 2 К | |
| 43 | R32 | Резистор 100 Ом | |
| 44 | R33 | Резистор 3.3 К | |
| 45 | C1, C2 | Конденсатор Н90 0.1 мкФ | |
| 46 | C3 | Конденсатор М47 15 Пф | |
| 47 | C4 | Конденсатор КТ - 4 23 -6\25 | |
| 48 | C5 | Конденсатор М47 15 пФ | |
| 49 | C6 | Конденсатор Н90 0.1 мкФ | |
| 50 | C8 | Конденсатор электролитический 220 мкФ 40 В | |
| 51 | C9 | Конденсатор электролитический 479 мкФ 25 В | |
| 52 | C10 | Конденсатор электролитический 20 мкФ 16 В | |
| 53 | C11, C13 | Конденсатор Н90 0.1 мкФ | |
| 54 | C14 | Конденсатор электролитический 20 мкФ 16 В | |
| 55 | C15, C16 | Конденсатор Н90 0.1 мкФ | |
| 56 | C17 | Конденсатор Н90 0.1 мкФ | |
| 57 | C18 | Конденсатор М1500 1000 Пф | |
| 58 | PS1 | Звонок пьезокерамический ЗП-1 | |
| 59 | BQ1 | Резонатор РК372. 4А - 32.768К - А | |

Таблица 3.17. Перечень элементов платы коммутации микроволновой печи “Лена”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | DA1, DA2 | Микросхема КР140УД608 | |
| 2 | V1, V2 | Оптопара АОТ128Б | |
| 3 | KV1 | Реле РЭС22 | |
| 4 | VT1 | Транзистор КТ209К | |
| 5 | VT2 | Транзистор КТ3102АМ | |
| 6 | VT3 | Транзистор КТ209К | |
| 7 | VT4 | Транзистор КТ3102АМ | |
| 8 | VT5, VT6 | Транзистор КТ209К | |
| 9 | VT7, VT8 | Транзистор КТ817Б | |
| 10 | VT9 | Транзистор КТ209К | |
| 11 | VT10, VT11 | Транзистор КТ3102АМ | |
| 12 | VD1 | Стабилитрон КС168А | |
| 13 | VD3 — VD5 | Диод КД522Б | |
| 14 | VD6, VD7 | Стабилитрон КС168А | |
| 15 | VD8 — VD11 | Диод КД105Б | |
| 16 | VD12. VD13 | Диод КД522Б | |
| 17 | VD14 — VD17 | Диод КД105Б | |
| 18 | VD18 | Диод КД522Б | |
| 19 | R2 | Резистор 1 К | |
| 20 | R3 | Резистор 1.5 К | |
| 21 | R4 | Резистор 100 К | |
| 22 | R5 | Резистор 20 К | |
| 23 | R6, R8 | Резистор 10 К | |
| 24 | R7 | Резистор 3 К | |
| 25 | R9 | Резистор 15 К | |
| 26 | R10 | Резистор 100 К | |
| 27 | R11 | Резистор 10 К | |
| 28 | R12 | Резистор 1 М | |
| 29 | R13 | Резистор 6.8 К | |

Таблица 3.17. Перечень элементов платы коммутации микроволновой печи "Лена" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R14 | Резистор 10 K | |
| 31 | R15 | Резистор 1 K | |
| 32 | R16 | Резистор 20 K | |
| 33 | R17 | Резистор 3 K | |
| 34 | R18 | Резистор 100 K | |
| 35 | R19 | Резистор 3 K | |
| 36 | R20 | Резистор 5.1 K | |
| 37 | R21 | Резистор 100 K | |
| 38 | R22 | Резистор 220 K | |
| 39 | R23 | Резистор 160 K | |
| 40 | R25 | Резистор 20 K | |
| 41 | R26 | Резистор 5.1 K | |
| 42 | R27 | Резистор 20 K | |
| 43 | R29 | Резистор 20 K | |
| 44 | R30, R31 | Резистор 1.5 K | |
| 45 | R32 | Резистор 20 K | |
| 46 | R33 | Резистор 1.5 K | |
| 47 | R34, R35 | Резистор 820 Ом | |
| 48 | R36 | Резистор 100 K | |
| 49 | R37 | Резистор 1.5 K | |
| 50 | R38 | Резистор 2 K | |
| 51 | R39 | Резистор 750 Ом | |
| 52 | R40, R41 | Резистор 120 Ом | |
| 53 | R42 | Резистор 100 K | |
| 54 | R43 | Резистор 1.5 K | |
| 55 | R44 | Резистор 2 K | |
| 56 | R45 | Резистор 75 Ом | |
| 57 | R46, R47 | Резистор 120 Ом | |
| 58 | R48 | Резистор 1.5 K | |

**Таблица 3.17. Перечень элементов платы коммутации микроволновой печи “Лена” (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 59 | R51 | Резистор 5.1 K | |
| 60 | R52, R53 | Резистор 10 K | |
| 61 | C1 | Конденсатор электролитический 22 мкФ 25 В | |
| 62 | C2 | Конденсатор электролитический 10 мкФ 20 В | |
| 63 | C3 | Конденсатор электролитический 22 мкФ 25 В | |
| 64 | C4 | Конденсатор 0.22 мкФ | |
| 65 | C5 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ 63 В | |
| 66 | C7, C8 | Конденсатор электролитический 220 мкФ 25 В | |
| 67 | C9 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ 25 В | |
| 68 | C10 | Конденсатор 1000 Пф | |
| 69 | C11 | Конденсатор 0.1 мкФ | |

**Таблица 3.18. Характерные неисправности блока управления микроволновой печи "Лена"**

| № п/п. | Перечень характерных неисправностей. | Возможная причина неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1. | Печь не выключается | 1. Плохой контакт в кнопке "ПУСК" запуске не успевает зарядиться конденсатор С6 на плате управления. Наклеить кусочек металлической фольги на контактирующую поверхность кнопки<br>2. Неисправна микросхема DD6. Заменить микросхему |
| 2. | 1. При неработающей печи слышен гул. В полнакала горит лампа<br>2. Дымит накальный трансформатор | Вышел из строя симистор КУ208. Вместо него лучше поставить ТС122 |
| 3. | Нет индикации | Вышел из строя кварцевый резонатор |
| 4. | При нажатии кнопки "ПУСК" печь не включается | 1. Не нажимается верхний микропереключатель на дверце<br>2. Вышел из строя оптрон V2 |
| 5. | В момент зажигания светодиода, сигнализирующего о включении нагрева, печь отключается | 1. Неисправен магнетрон. Допускается замена магнетронов "Блесна-2" и " М-105 и аналогичные ему. При этом нужно переключить накальные провода с 6-и вольтовой обмотки на 3-х вольтовую<br>2. Сгорело сопротивление обратной связи (6.2 Ом, 5 Вт) или один из транзисторов VT1, VT2, VT9<br>3. Неисправна микросхема DA2 |

## Микроволновая печь "Мила"

Принципиальная электрическая схема блока управления представлена на рис. 3.23, а микроволновой печи на рис. 3.24. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.19.

Наиболее характерной неисправностью является перегорание предохранителя 1 А в цепи накального трансформатора. В этом случае желательно заменить симистор КУ208Г на ТС122.

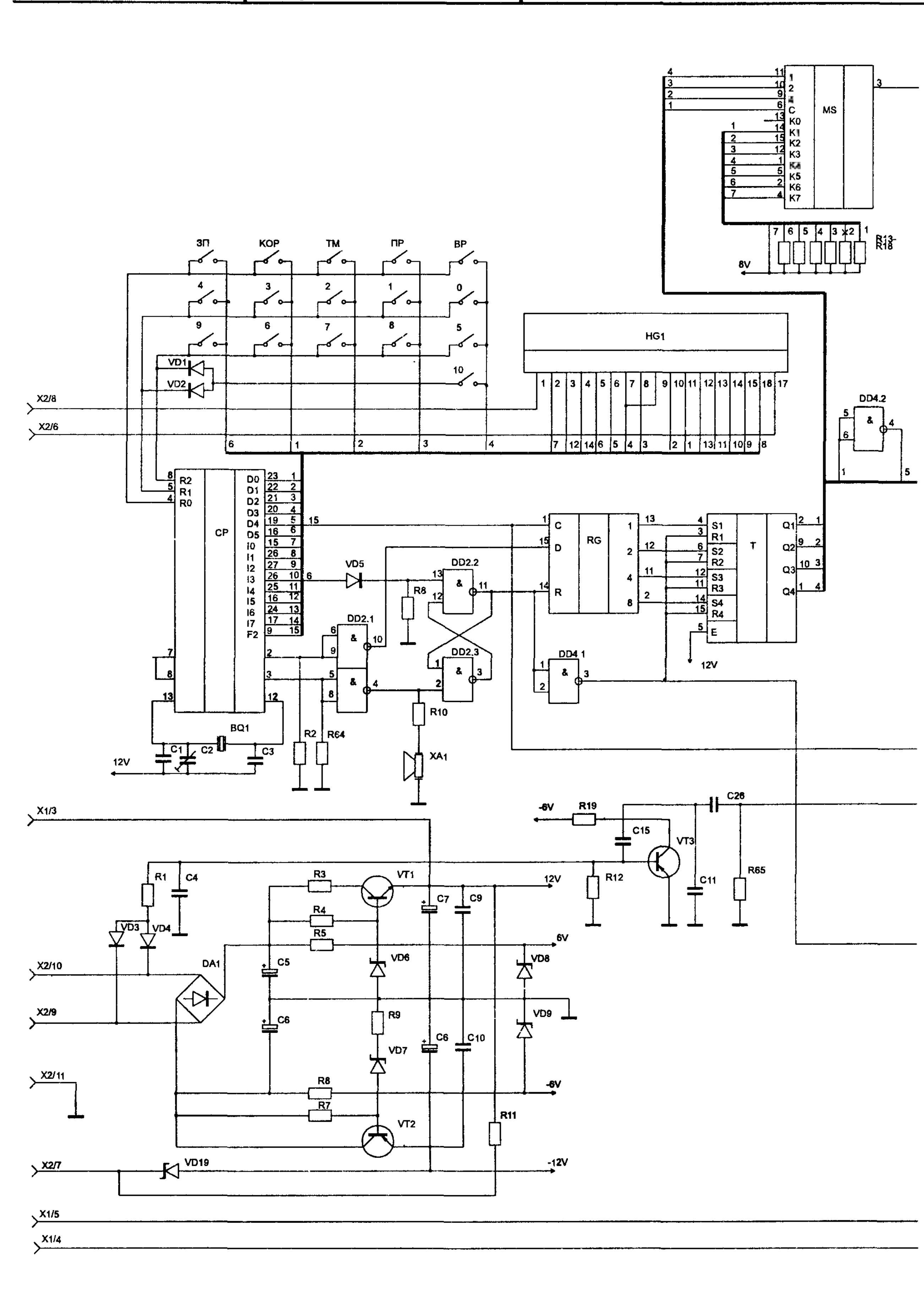
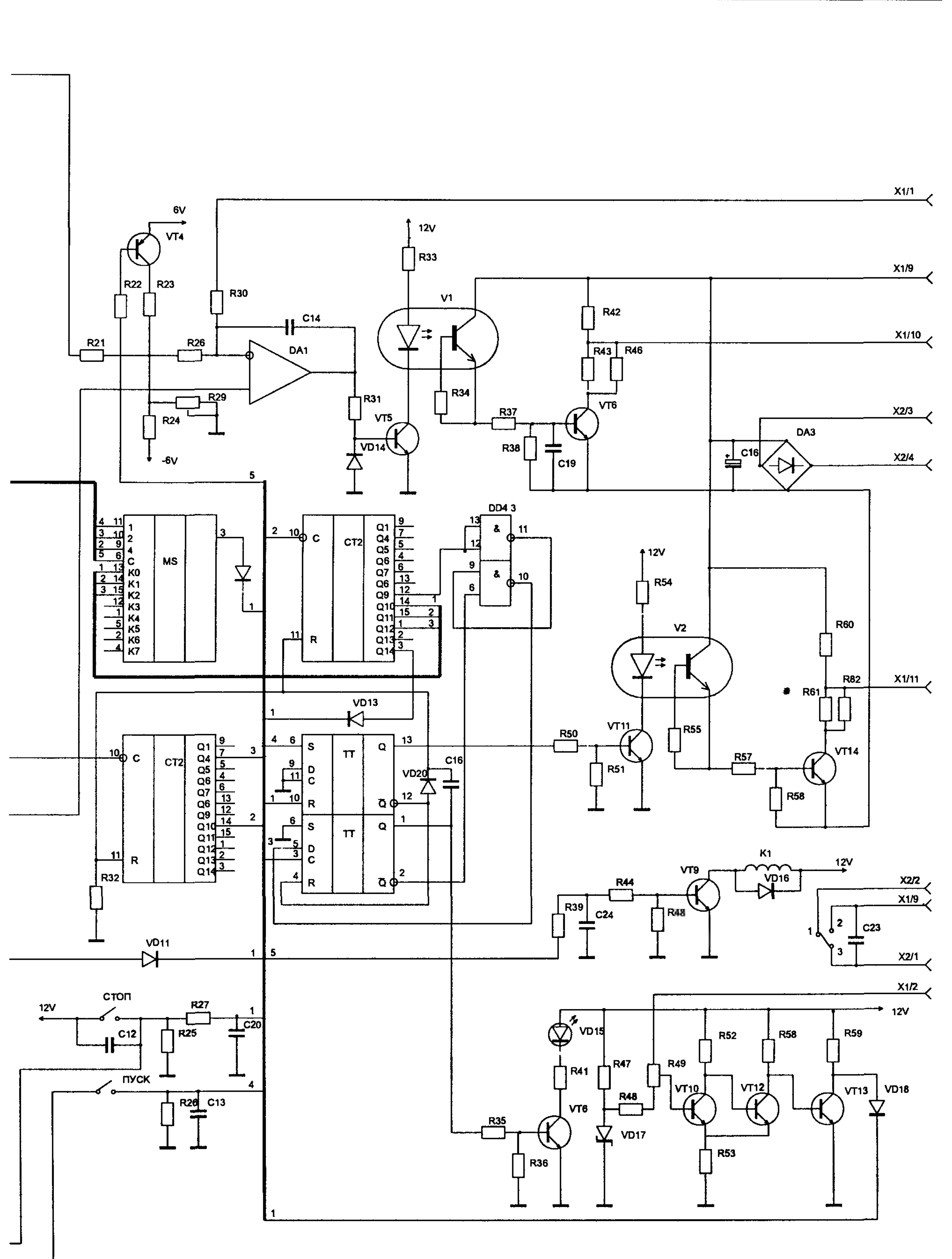


Рис. 3.23. Принципиальная электрическая схема блока управления микроаолновой печи “Мила”



X1/1
X1/9
X1/10
X2/3
X2/4
X1/11
X2/2
X1/9
X2/1
X1/2
6V
VT4
R22
R23
R30
R21
R26
C14
DA1
R29
R24
-6V
12V
R33
V1
R31
VT5
VD14
R34
R37
VT6
R38
C19
R42
R43
R46
DA3
C16
DD4 3
MS
CT2
TT
VD13
VD20
C16
R32
VD11
V2
R54
R50
VT11
R51
R55
R57
VT14
R58
R60
R61
R82
K1
VD16
VT9
R44
R39
C24
R48
C23
СТОП
ПУСК
R27
C12
R25
C20
R26
C13
VD15
R41
R47
R49
R52
R58
R59
VT10
VT12
VT13
VD18
R48
VD17
R35
R36
R53

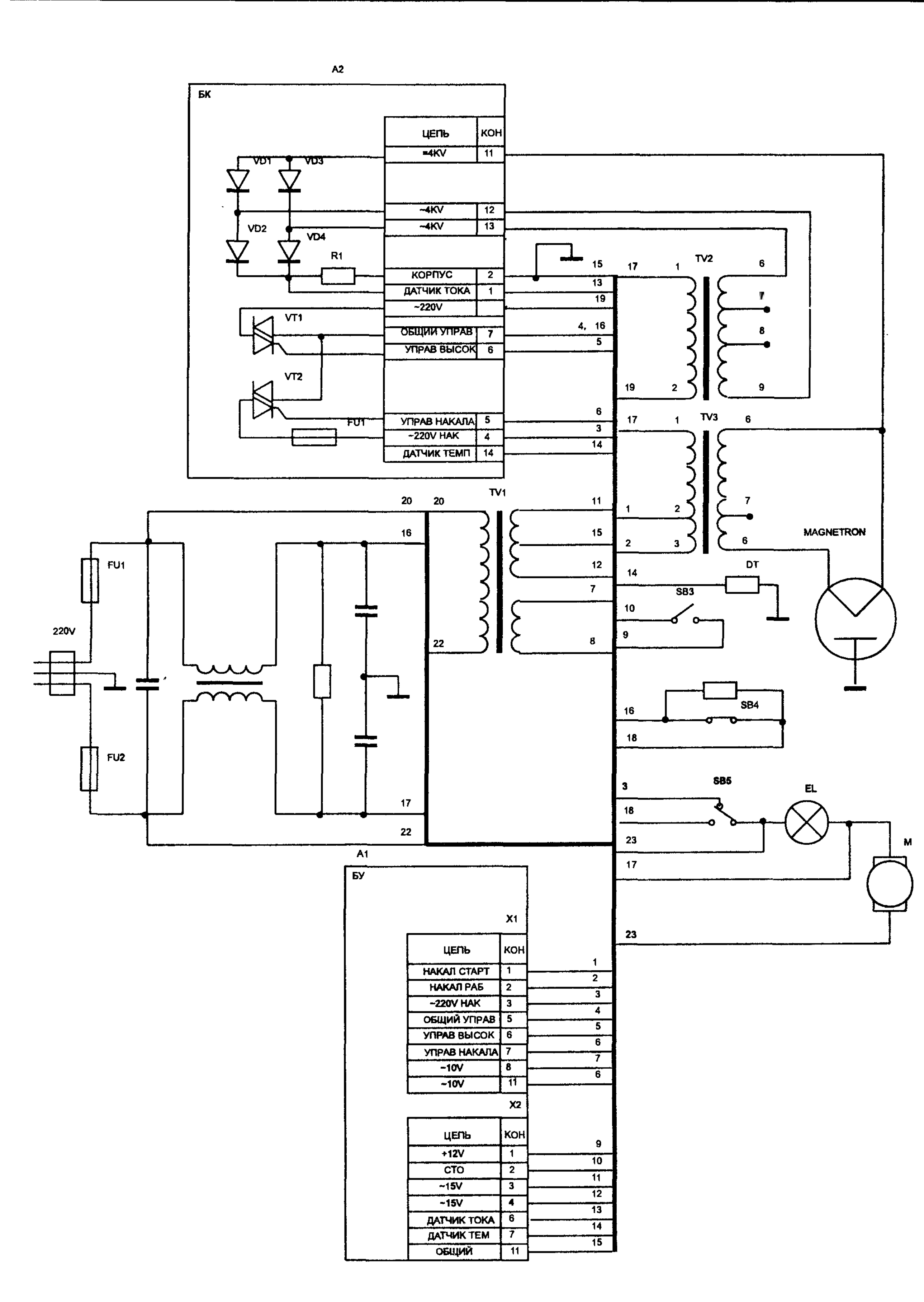



Рис. 3.24. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Мила"

**Таблица 3.19. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Мила”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | DD1 | Микросхема КР1016ВИ1 | |
| 2 | DD2 | Микросхема К561ЛА7 | |
| 3 | DD3 | Микросхема К561ИР2 | |
| 4 | DD4 | Микросхема К561ЛА7 | |
| 5 | DD5 | Микросхема К561ТР2 | |
| 6 | DD6, DD7 | Микросхема К561КП2 | |
| 7 | DD8, DD8 | Микросхема К561ИЕ16 | |
| 8 | DD10 | Микросхема К561ТМ2 | |
| 9 | DA1 | Диодный мост КЦ405 | |
| 10 | DA2 | Микросхема КР140УД701 | |
| 11 | DA3 | Диодный мост КЦ405 | |
| 12 | HA1 | Звонок пьезокерамический ЗП-1 | |
| 13 | HG1 | Индикатор ИЛЦ - 5/7 тип1 | |
| 14 | K1 | Реле РЭК53 | |
| 15 | SB1 — SB18 | Выключатель кнопочный | |
| 16 | V1, V2 | Оптопара транзисторная АОТ128Е | |
| 17 | VD1 — VD5 | Диод КД522Б | |
| 18 | VD6 | Стабилитрон КС213Ж | |
| 19 | VD7 | Стабилитрон КС213Б2 | |
| 20 | VD8, VD9 | Стабилитрон КС168А | |
| 21 | VD11, VD14 | Диод КД522Б | |
| 22 | VD15 | Светодиод АЛ307Б | |
| 23 | VD16 | Диод КД522Б | |
| 24 | VD17 | Стабистор КС119А | |
| 25 | VD18 | Диод КД522Б | |
| 26 | VD19 | Стабилитрон | |
| 27 | VD20 | Диод КД522Б | |
| 28 | VT1 | Транзистор КТ817Б | |
| 29 | VT2 | Транзистор КТ814Б | |

Таблица 3.19. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Мила" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | VT3, VT4 | Транзистор КТ209К | |
| 31 | VT5, VT6 | Транзистор КТ3102БМ | |
| 32 | VT8 | Транзистор КТ817Б | |
| 33 | VT9, VT10 | Транзистор КТ3102Б | |
| 34 | VT12, VT13 | Транзистор КТ3102БМ | |
| 35 | X1 | Розетка ОНп- КГ -22 -19/33*7.7 - Р50 - 13 | |
| 36 | X2 | Розетка ОНп - КГ 22 - 10/33*7.7 - Р50 - 13 | |
| 37 | SB1 | Резонатор РК3724А - 32, 768К-А | |
| 38 | R1 | Резистор 20 К | |
| 39 | R2 | Резистор 48 К | |
| 40 | R3 | Резистор 39 Ом | |
| 41 | R4 | Резистор 1.5 К | |
| 42 | R5, R6 | Резистор 1.5 К | |
| 43 | R7 | Резистор 1.5 К | |
| 44 | R8 | Резистор 48 К | |
| 45 | R9 | Резистор 300 Ом | |
| 46 | R10 | Резистор 1.5 К | |
| 47 | R11 | Резистор 5.6 К | |
| 48 | R12 | Резистор 2 К | |
| 49 | R13 | Резистор 62 К | |
| 50 | R14 | Резистор 33 К | |
| 51 | R15 | Резистор 22К | |
| 52 | R16 | Резистор 12 К | |
| 53 | R17 | Резистор 8.2 К | |
| 54 | R18 | Резистор 3 К | |
| 55 | R19 | Резистор 5.1 К | |
| 56 | R20 | Резистор 100 К | |
| 57 | R21 | Резистор 12 К | |
| 58 | R22 | Резистор 20 К | |

Таблица 3.19. Перечень элементов блока управления микроволновой печи “Мила” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 59 | R23 | Резистор 2 K | |
| 60 | R24 | Резистор 6.8 K | |
| 61 | R25, R26 | Резистор 100 K | |
| 62 | R27 | Резистор 3.3 K | |
| 63 | R28 | Резистор 100 K | |
| 64 | R29 | Резистор 6.8 K | |
| 65 | R30 | Резистор 100 K | |
| 66 | R31 | Резистор 5.1 K | |
| 67 | R32 | Резистор 100 K | |
| 68 | R33 | Резистор 910 Ом | |
| 69 | R34 | Резистор 100 K | |
| 70 | R35, R36 | Резистор 20 K | |
| 71 | R37 | Резистор 1.5 K | |
| 72 | R38 | Резистор 2 K | |
| 73 | R41 | Резистор 1.5 K | |
| 74 | R42 | Резистор 2 K | |
| 75 | R43 | Резистор 120 Ом | |
| 76 | R44 | Резистор 20 K | |
| 77 | R45 | Резистор 10 K | |
| 78 | R46 | Резистор 120 Ом | |
| 79 | R47 | Резистор 1.5 K | |
| 80 | R48 | Резистор 360 Ом | |
| 81 | R49 | Резистор 220 Ом | |
| 82 | R52 | Резистор 10 K | |
| 83 | R53 | Резистор 24 Ом | |
| 84 | R56 | Резистор 5.1 K | |
| 85 | R59 | Резистор 10 K | |
| 86 | R60 | Резистор 75 Ом | |
| 87 | R64 | Резистор 10 K | |

Таблица 3.19. Перечень элементов блока управления микроволновой печи "Мила" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 88 | R65 | Резистор 100 К | |
| 89 | C1 | Конденсатор КТ1 - М47 15 Пф | |
| 90 | C2 | Конденсатор КТ4 - 23 -6/25 | |
| 91 | C3 | Конденсатор КТ1 М47 15 Пф | |
| 92 | C4 | Конденсатор К10-17 -1б-М90 0.1 мкФ | |
| 93 | C5, C6 | Конденсатор К50-35 40 В 220 мкФ | |
| 94 | C7 | Конденсатор К50-35 16 В 100 мкФ | |
| 95 | C8 | Конденсатор К50-35 63 В 10мкФ | |
| 96 | C9, C10 | Конденсатор КМ-5б -Н90 0.1 мкФ | |
| 97 | C11 | Конденсатор К10-17 -1б-М90 0.1 мкФ | |
| 98 | C12, C13 | Конденсатор КМ-5б -Н90 0.1 мкФ | |
| 99 | C14 | Конденсатор К73 - 17 63 В 1 мкФ | |
| 100 | C16 | Конденсатор КМ-5б -Н90 0.1 мкФ | |
| 101 | C18 | Конденсатор К50-35 25 В 1000 мкФ | |
| 102 | C19 | Конденсатор КМ-5б -Н90 0.1 мкФ | |
| 103 | C20 | Конденсатор К10 - 7В- М1500 1000 Пф | |
| 104 | C21, C22 | Конденсатор КМ-5б -Н90 0.1 мкФ | |
| 105 | C23 | Конденсатор К73- 11 400 В 0.027 мкФ | |
| 106 | C25 | Конденсатор К10-17 -1б-М90 0.033 мкФ | |
| 107 | C26 | Конденсатор К10-17 -1б-М90 0.1 мкФ | |

## Микроволновая печь "Мила-2"

Принципиальная электрическая схема блока управления печи представлена на рис. 3.25. Схема силовой части та же, что и у микроволновой печи "Мила".

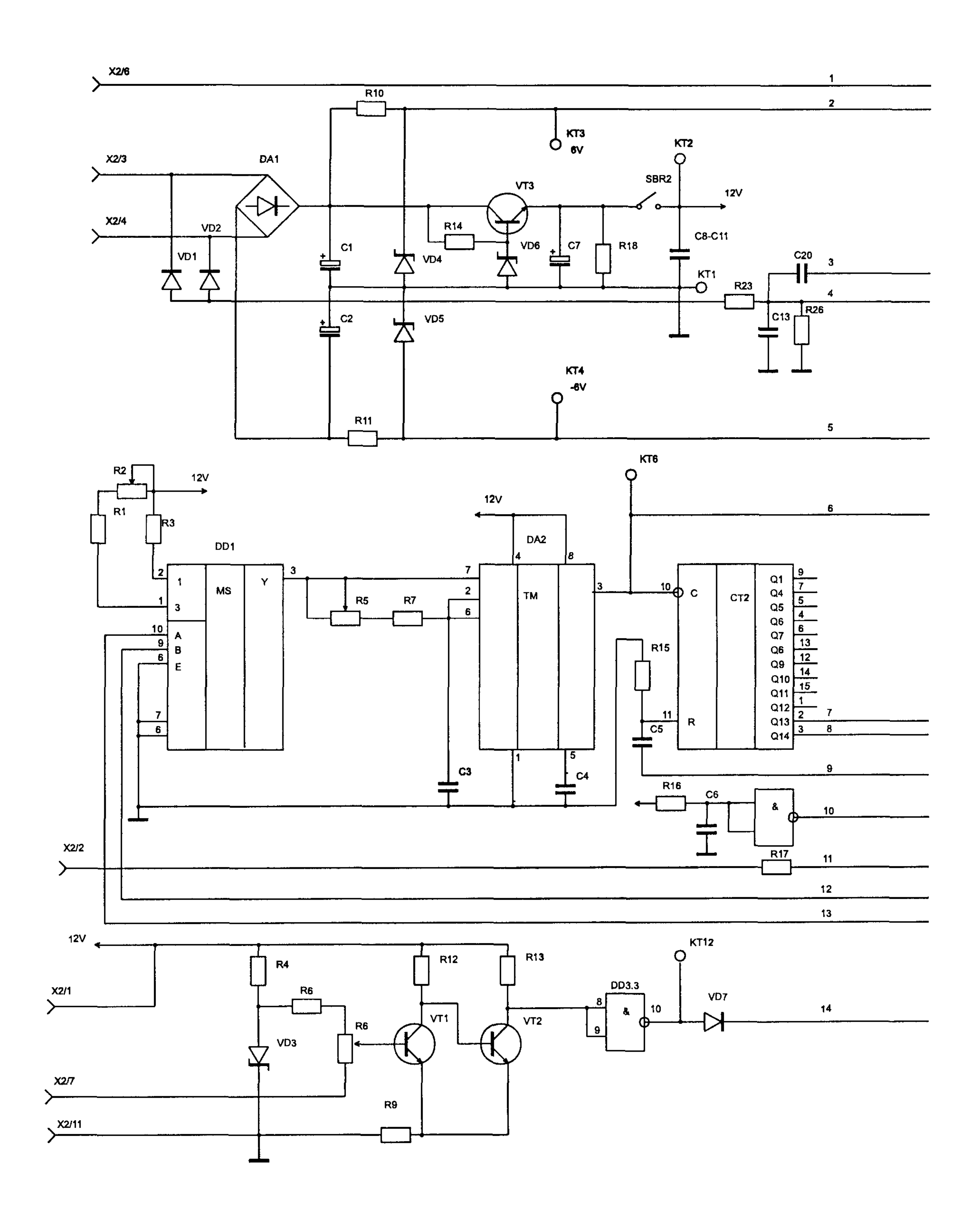



Рис. 3.25. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “Мила-2”

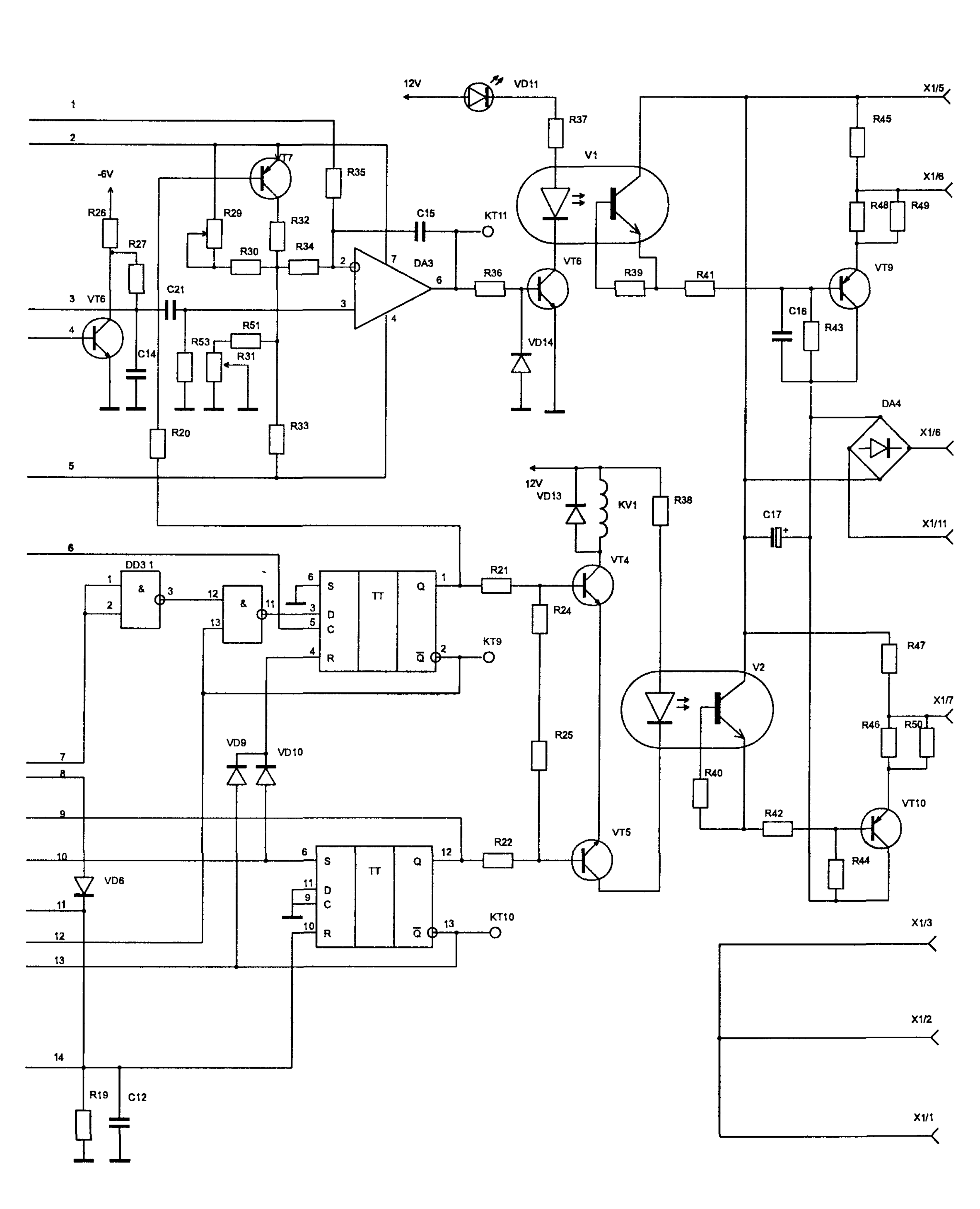



Рис. 3.25. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “Мила-2” (продолжение)

# Микроволновые печи "Плутон", "Южполиметалл", "Gold Star"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.26, блока управления на рис. 3.27. Список характерных неисправностей приведен в таблице 3.20.

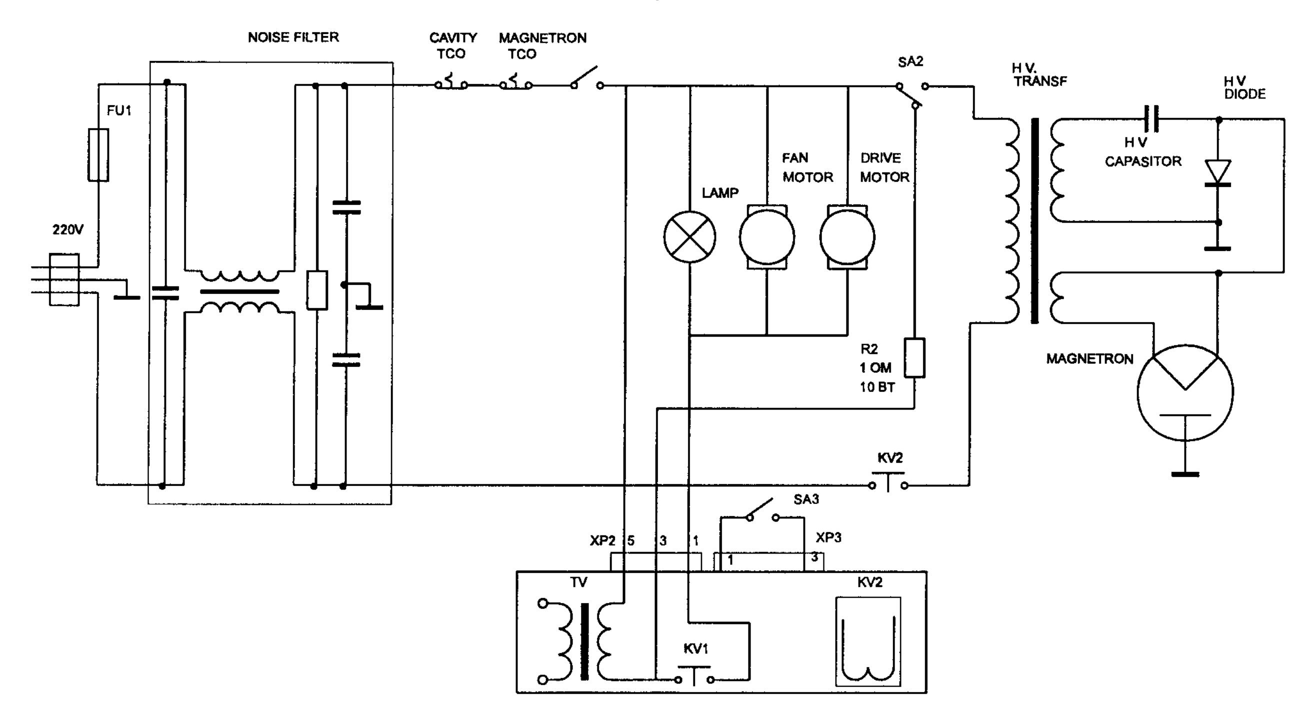



Рис. 3.26. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "Плутон"

**Таблица. 3.20. Характерные неисправности блока управления микроволновой печи "Плутон"**

| № п/п. | Перечень характерных неисправностей. | Возможная причина неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1. | Не работает клавиатура | Вышел из строя микропроцессор. Чаще всего случается "подсаживание" на корпус одного из входов (выводы 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15) микроконтроллера. Иногда эту неприятность можно исправить, соединив подсаженный вход с шиной питания через резистор. Номинал резистора следует подбирать (ориентировочно 5 K) |

Теперь о микроволновых печах зарубежного производства.

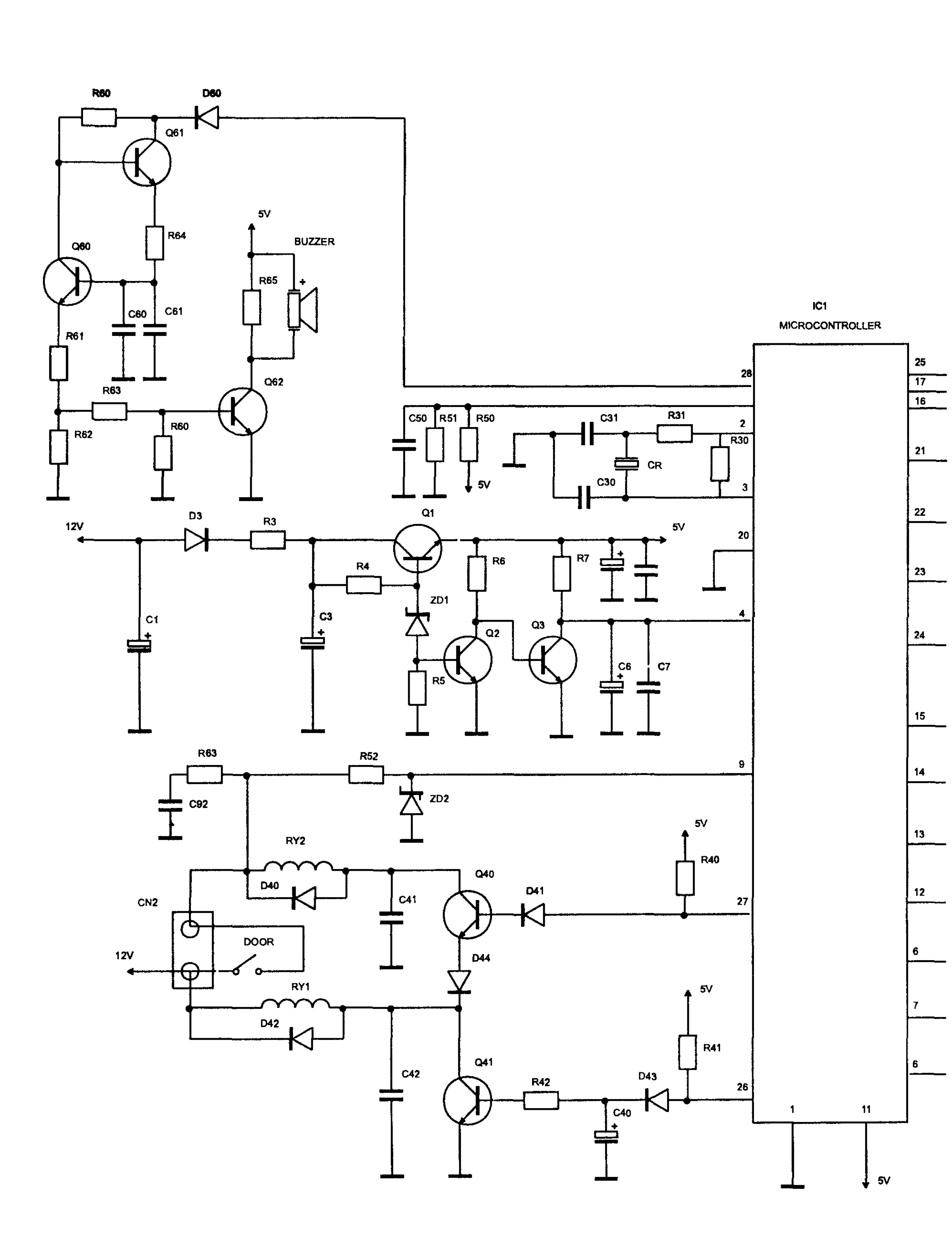
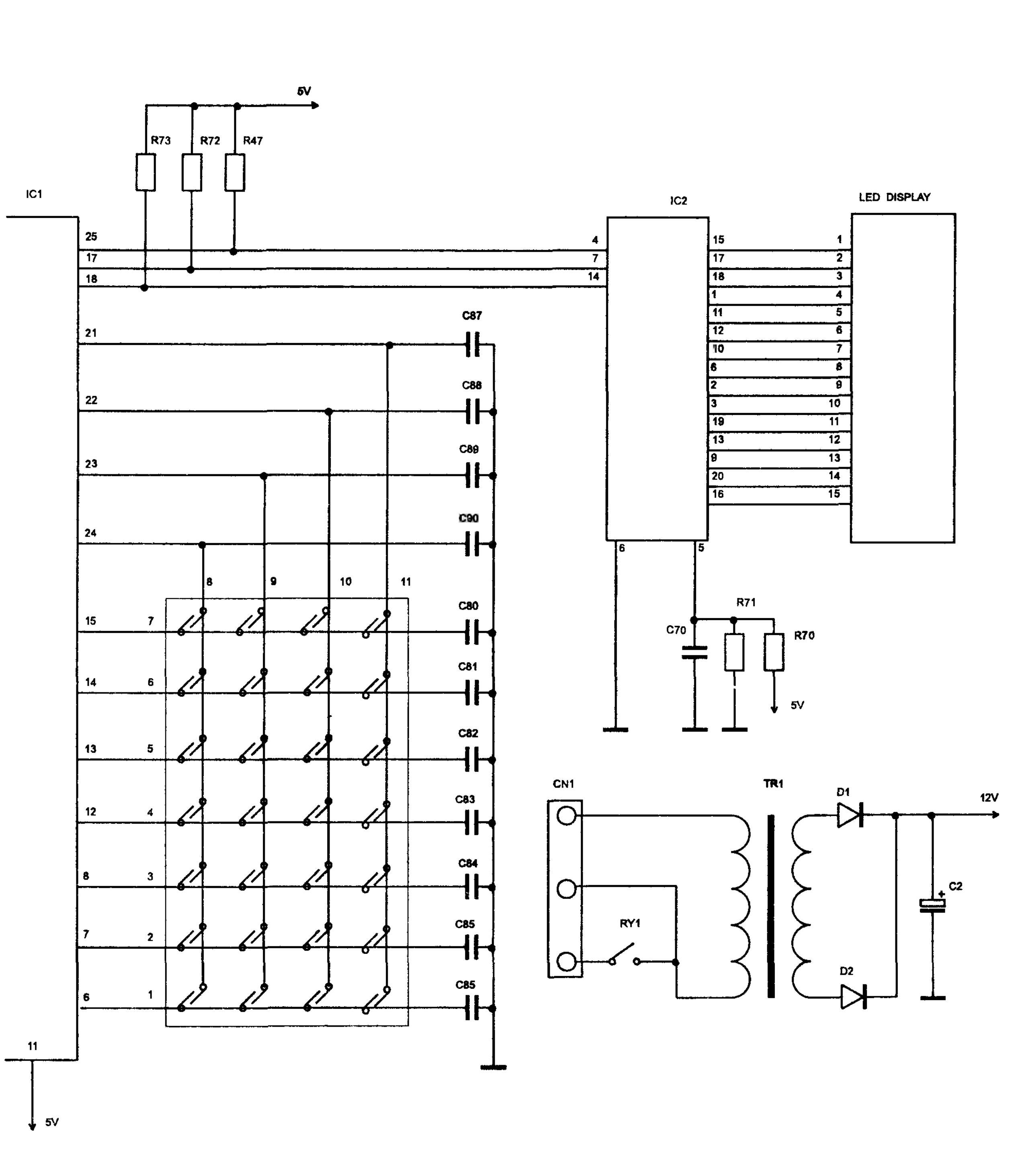



Рис. 3.27. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "Плутон"


5V
R73
R72
R47
IC1
IC2
LED DISPLAY
C87
C88
C89
C90
C80
C81
C82
C83
C84
C85
C85
C70
R71
R70
5V
CN1
TR1
D1
D2
C2
12V
RY1
5V

## Микроволновая печь “M6136 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.28.

## Микроволновая печь “M6138 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.29.

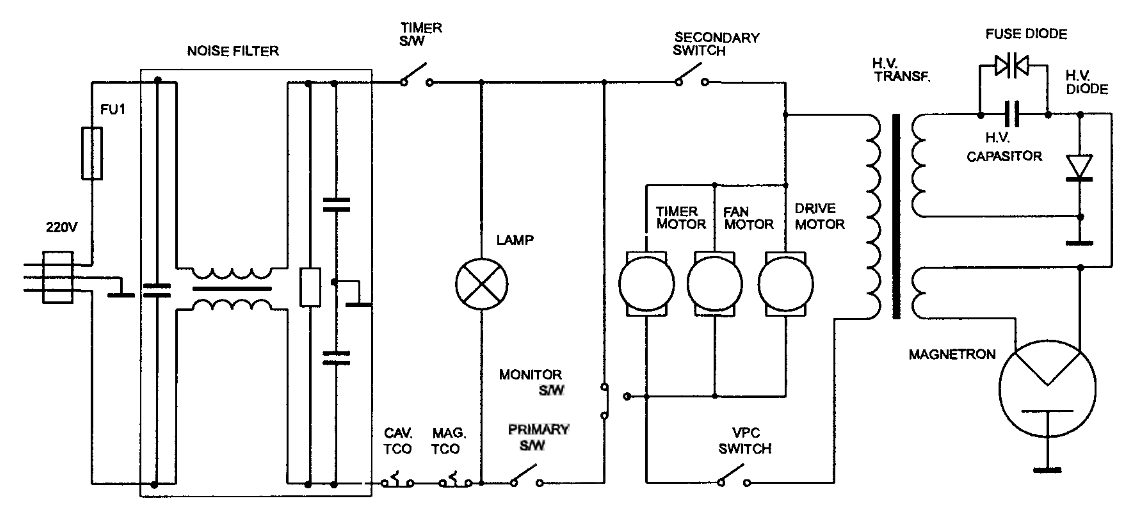



**Рис. 3.28.** **Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M6136 Samsung”**

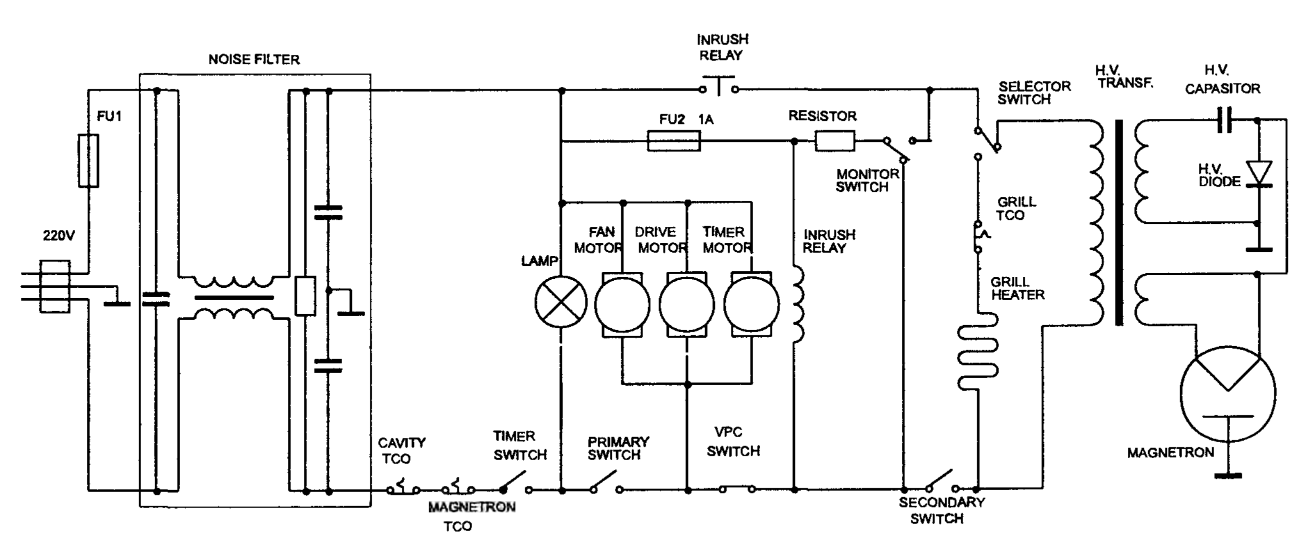



**Рис. 3.29.** **Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M6138 Samsung”**

# Микроволновая печь “M6148 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представпена на рис. 3.30, блока управления на рис. 3.31. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.21.

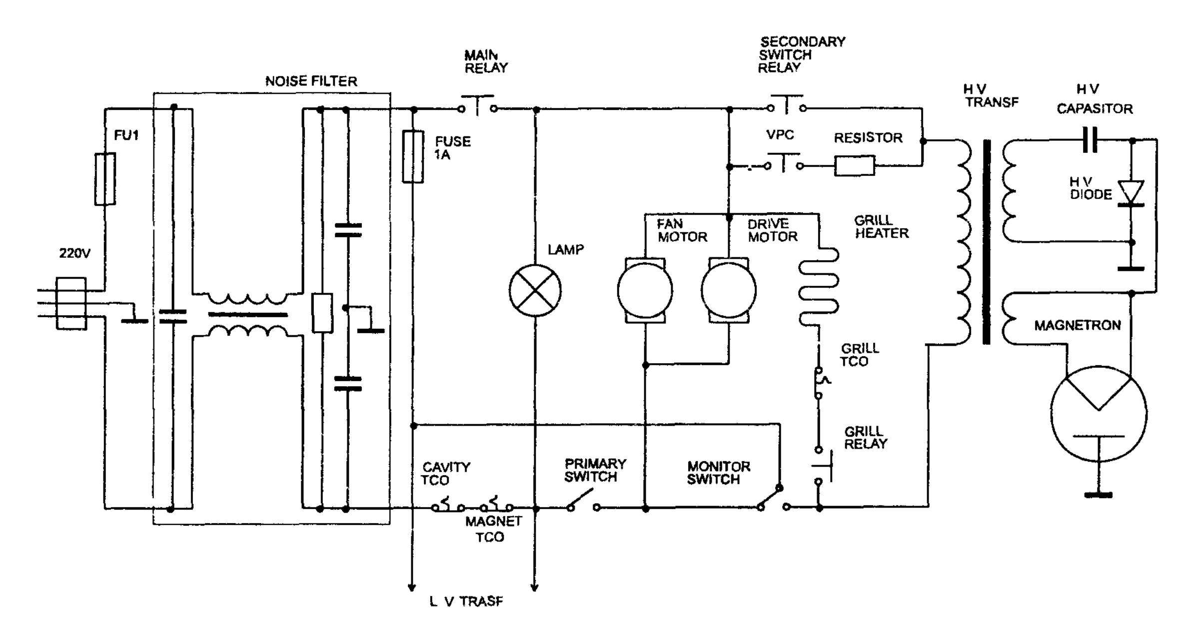



**Рис. 3.30. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M6148 Samsung”**

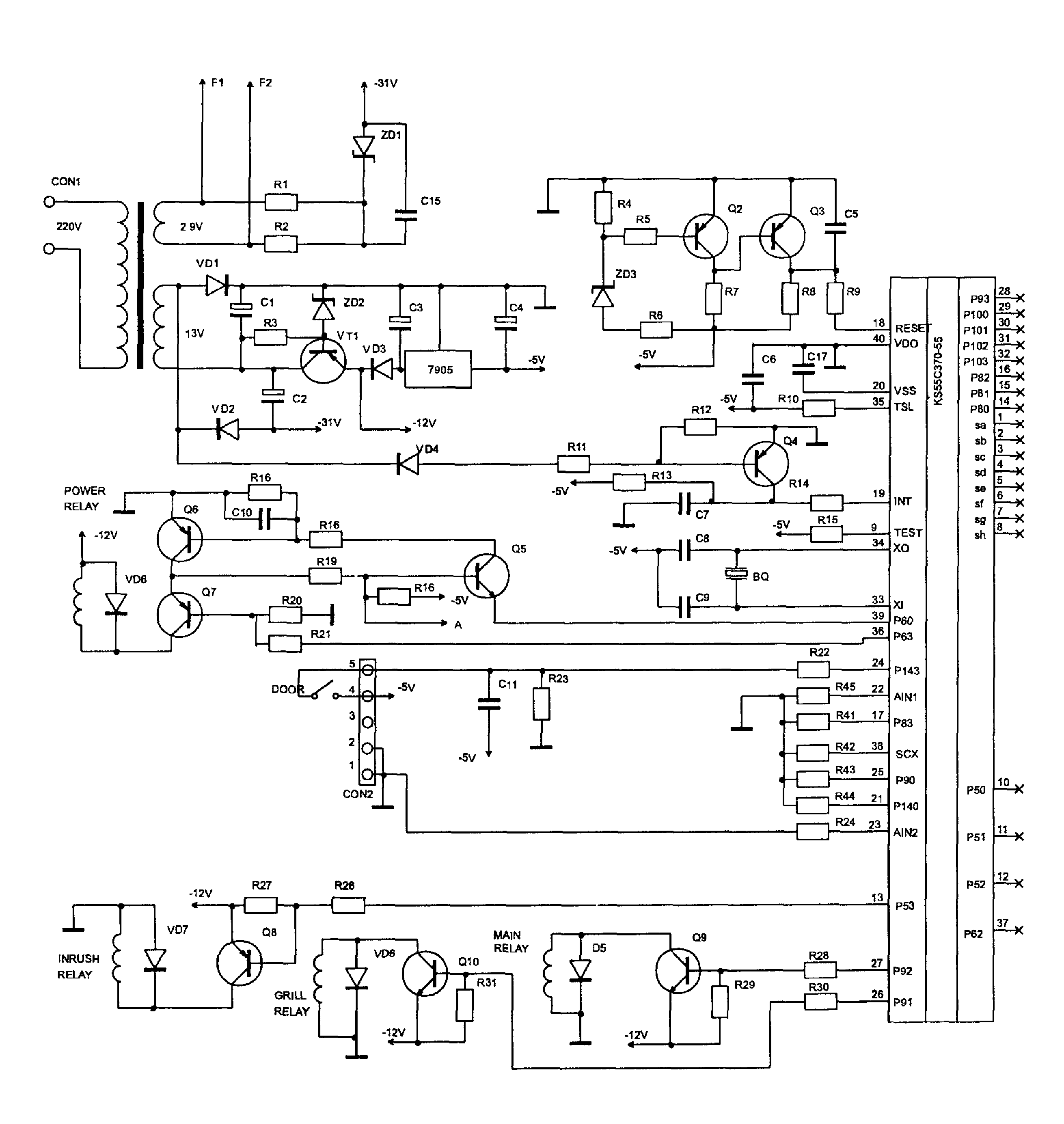


Рис. 3.31. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "М6148 Samsung"

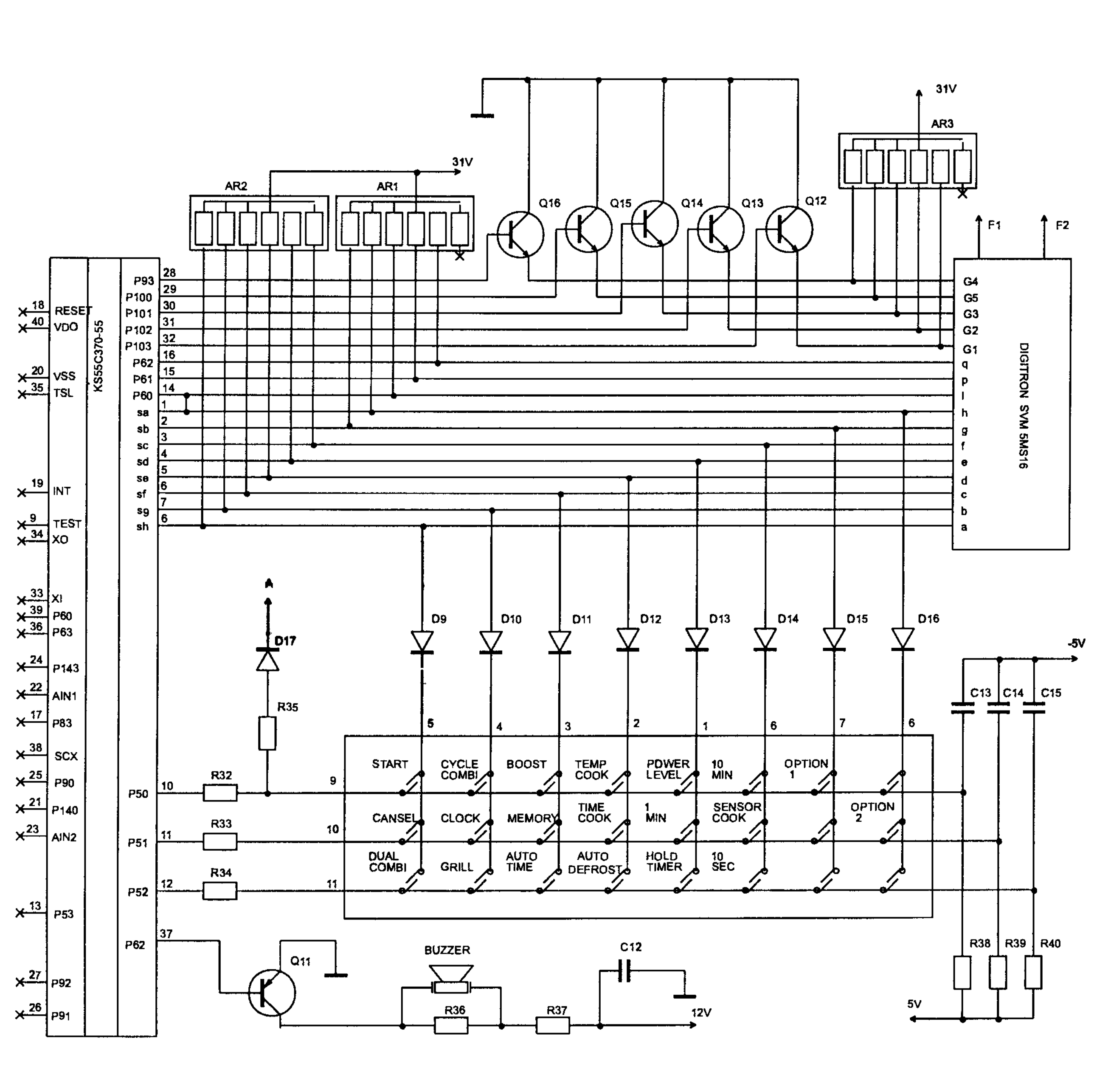

KS55C370-55
RESET
VDO
VSS
TSL
INT
TEST
XO
XI
P60
P63
P143
AIN1
P83
SCX
P90
P140
AIN2
P53
P92
P91
P93
P100
P101
P102
P103
P62
P61
P60
sa
sb
sc
sd
se
sf
sg
sh
P50
P51
P52
P62
AR1
AR2
AR3
31V
Q11
Q12
Q13
Q14
Q15
Q16
F1
F2
G4
G5
G3
G2
G1
DIGITRON SVM 5MS16
D9
D10
D11
D12
D13
D14
D15
D16
D17
R32
R33
R34
R35
R36
R37
R38
R39
R40
C12
C13
C14
C15
-5V
5V
12V
BUZZER
START
CYCLE COMBI
BOOST
TEMP COOK
POWER LEVEL
10 MIN
OPTION 1
CANSEL
CLOCK
MEMORY
TIME COOK
1 MIN
SENSOR COOK
OPTION 2
DUAL COMBI
GRILL
AUTO TIME
AUTO DEFROST
HOLD TIMER
10 SEC

**Таблица 3.21. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “M6148 Samsung”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер KS55C370 | |
| 2 | IC2 | Микросхема 7905 | |
| 3 | Q1 | Транзистор B772 | |
| 4 | Q2 — Q4 | Транзистор A539-Y | |
| 5 | Q5 | Транзистор C815-Y | |
| 6 | Q6, Q7 | Транзистор A539-Y | |
| 7 | Q8 | Транзистор KSA539-Y | |
| 8 | Q9, Q10 | Транзистор KSC815-Y | |
| 9 | Q11 | Транзистор KSR2005 | |
| 10 | Q12 — Q16 | Транзистор KSR1005 | |
| 11 | D1 — D8 | Диод 1N4001 | |
| 12 | D9 — D17 | Диод US1040 | |
| 13 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 14 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 15 | ZD3 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 16 | R1, R2 | Резистор 330 Ом | |
| 17 | R3, R4 | Резистор 470 Ом | |
| 18 | R5 | Резистор 510 Ом | |
| 19 | R6 | Резистор 470 Ом | |
| 20 | R7 | Резистор 5.1 K | |
| 21 | R8 | Резистор 5 K | |
| 22 | R9 — R11 | Резистор 10 K | |
| 23 | R12 | Резистор 3.9 K | |
| 24 | R13, R14 | Резистор 4.7 K | |
| 25 | R15 | Резистор 10 K | |
| 26 | R16 — R20 | Резистор 10 K | |
| 27 | R21, R22 | Резистор 3.9 K | |
| 28 | R23 | Резистор 10 K | |
| 29 | R24 | Резистор 3.9 K | |

Таблица 3.21. Перечень элементов платы управления микроаолновой печи “M6148 Samsung” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R26 | Резистор 3.9 K | |
| 31 | R27, R28 | Резистор 10 K | |
| 32 | R29 | Резистор 3.9 K | |
| 33 | R30 | Резистор 10 K | |
| 34 | R31 — R35 | Резистор 3.9 K | |
| 35 | R36 | Резистор 1 K | |
| 36 | R37 | Резистор 100 Ом | |
| 37 | R38 — R40 | Резистор 47 K | |
| 38 | C1 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 39 | C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 40 | C3 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 41 | C4 | Конденсатор электролитический 100 мкФ | |
| 42 | C5 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 43 | C6 — C7 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 44 | C8 — C9 | Конденсатор 27 пФ | |
| 45 | C10 — C12 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 46 | C13 — C15 | Конденсатор 3300 пФ | |
| 47 | C16 — C18 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 48 | AR1 — AR3 | Резисторная матрица 8E473JYV | |
| 49 | CR | Резонатор пьезоэлектрический CSA - 2.00MG | |

## Микроволновая печь “M6245 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.32, блока управления на рис. 3.33. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.22.

Таблица 3.22. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “M6245 Samsung”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер HD40222 | |
| 2 | IC2 | Микросхема KA7657 | |
| 3 | IC3 | Микросхема KA7651 | |
| 4 | IC4 | Микросхема 7805 | |
| 5 | VT1 | Транзистор C815-Y | |
| 6 | VT3, VT4 | Транзистор C815 | |
| 7 | VT5 | Транзистор R1005 | |
| 8 | VT6 | Транзистор A539-Y | |
| 9 | VT7 — VT10 | Транзистор C815-Y | |
| 10 | D1 — D11 | Диод 1N4004 | |
| 11 | D12 — D18 | Диод 1N4148 | |
| 12 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 13 | ZD2 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 14 | R1 | Резистор 1 M | |
| 15 | R2 | Резистор 1 K | |
| 16 | R3 | Резистор 2 K | |
| 17 | R4 | Резистор 510 Ом | |
| 18 | R5, R6 | Резистор 10 K | |
| 19 | R7 — R13 | Резистор 150 Ом | |
| 20 | R14 | Резистор 10 K | |
| 21 | R15 | Резистор 560 Ом | |
| 22 | R16 | Резистор 1 K | |
| 23 | R17 | Резистор 47 K | |
| 24 | R18 — R24 | Резистор 10 K | |
| 25 | R25 | Резистор 3.9 K | |
| 26 | R26 | Резистор 10 K | |
| 27 | R27 | Резистор 100 K | |
| 28 | R28 | Резистор 10 K | |
| 29 | R29 | Резистор 3.9 K | |

Таблица 3.22. Перечень элементоа платы управления микроволновой печи "M6245 Samsung" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R30 | Резистор 10 K | |
| 31 | R31 | Резистор 3.9 K | |
| 32 | C1 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 33 | C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 34 | C3 | Конденсатор электролитический 100 мкФ | |
| 35 | C4 — C6 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 36 | C7, C8 | Конденсатор 27 пФ | |
| 37 | C9 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 38 | C10 | Конденсатор электролитический 1 мкФ | |
| 39 | C11, C12 | Конденсатор 0.0033 мкФ | |
| 40 | C13 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 41 | C14 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 42 | C15 | Конденсатор электролитический 22 мкФ | |
| 43 | CR | Резонатор пьезоэлектрический CSA - 2.00MG | |
| 44 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |

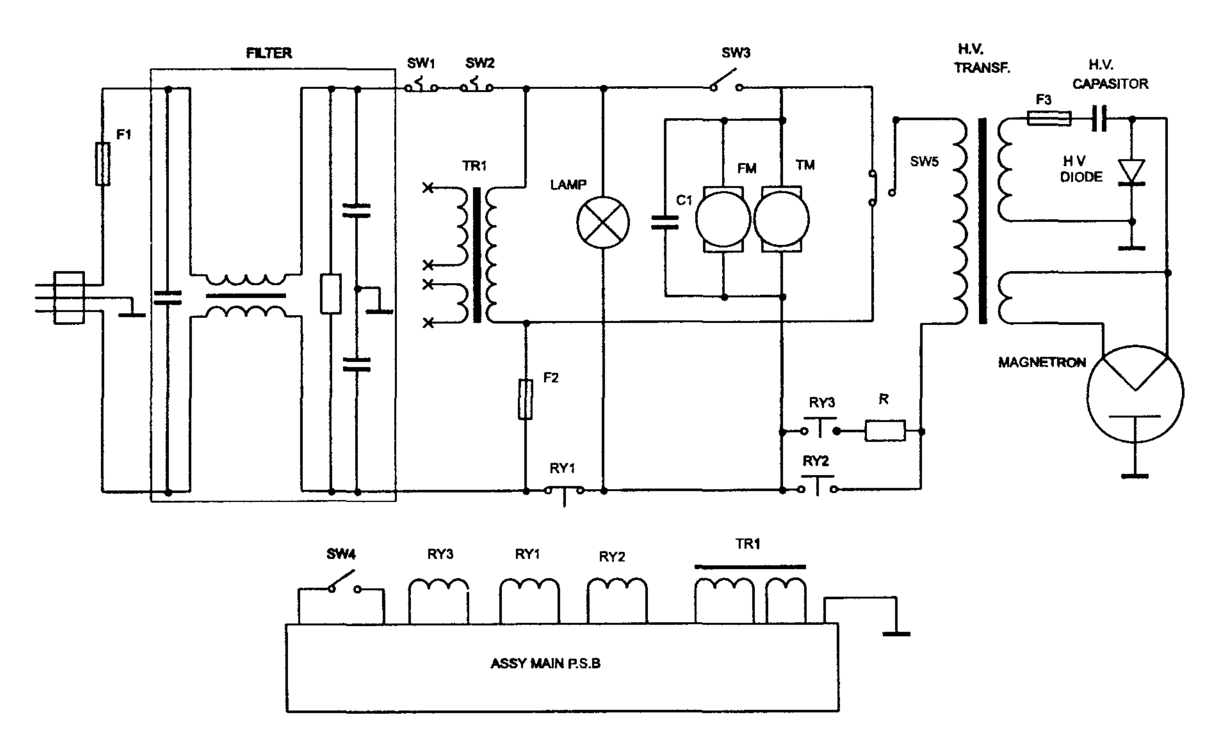



Рис. 3.32. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "M6245 Samsung"

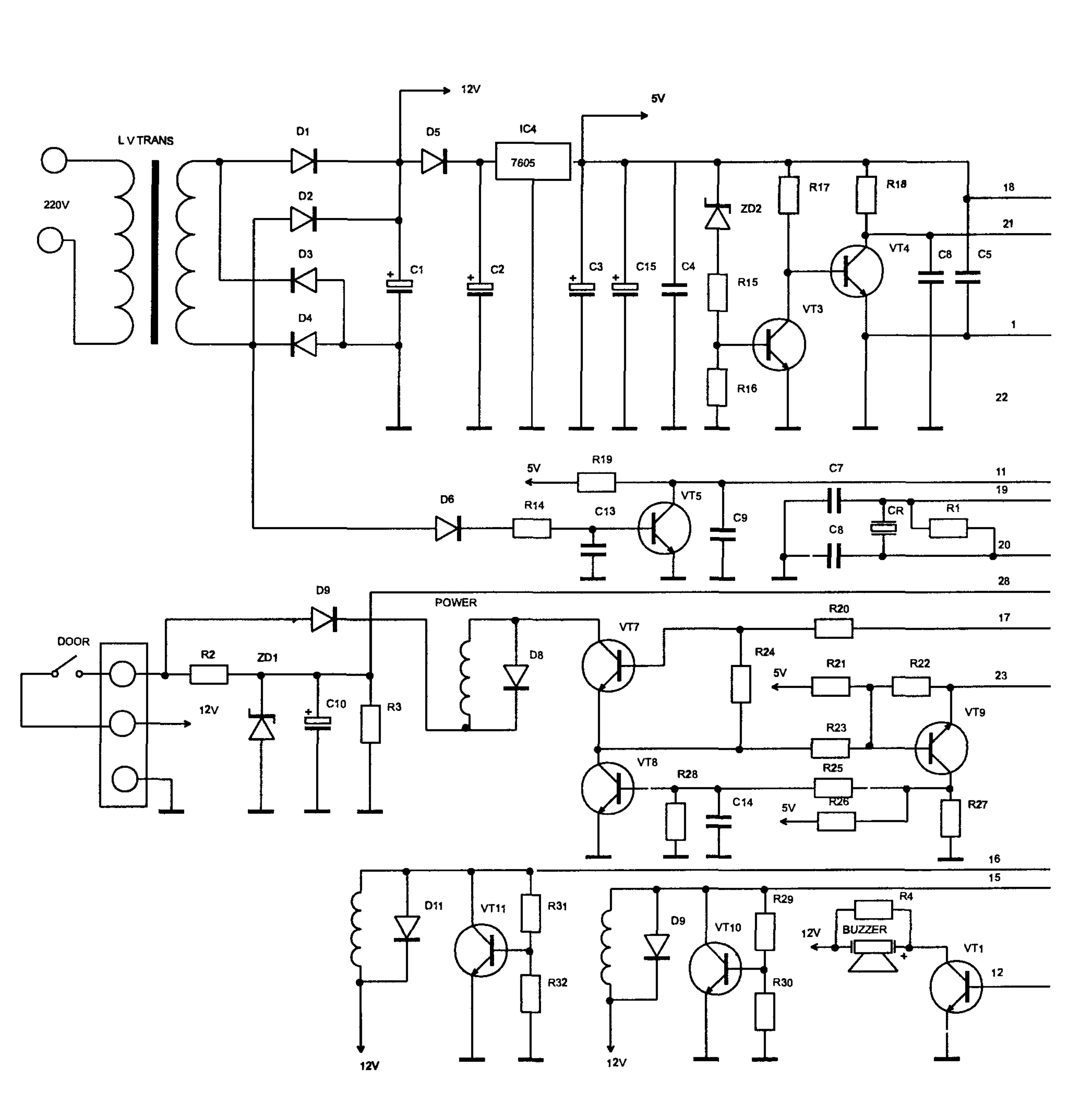
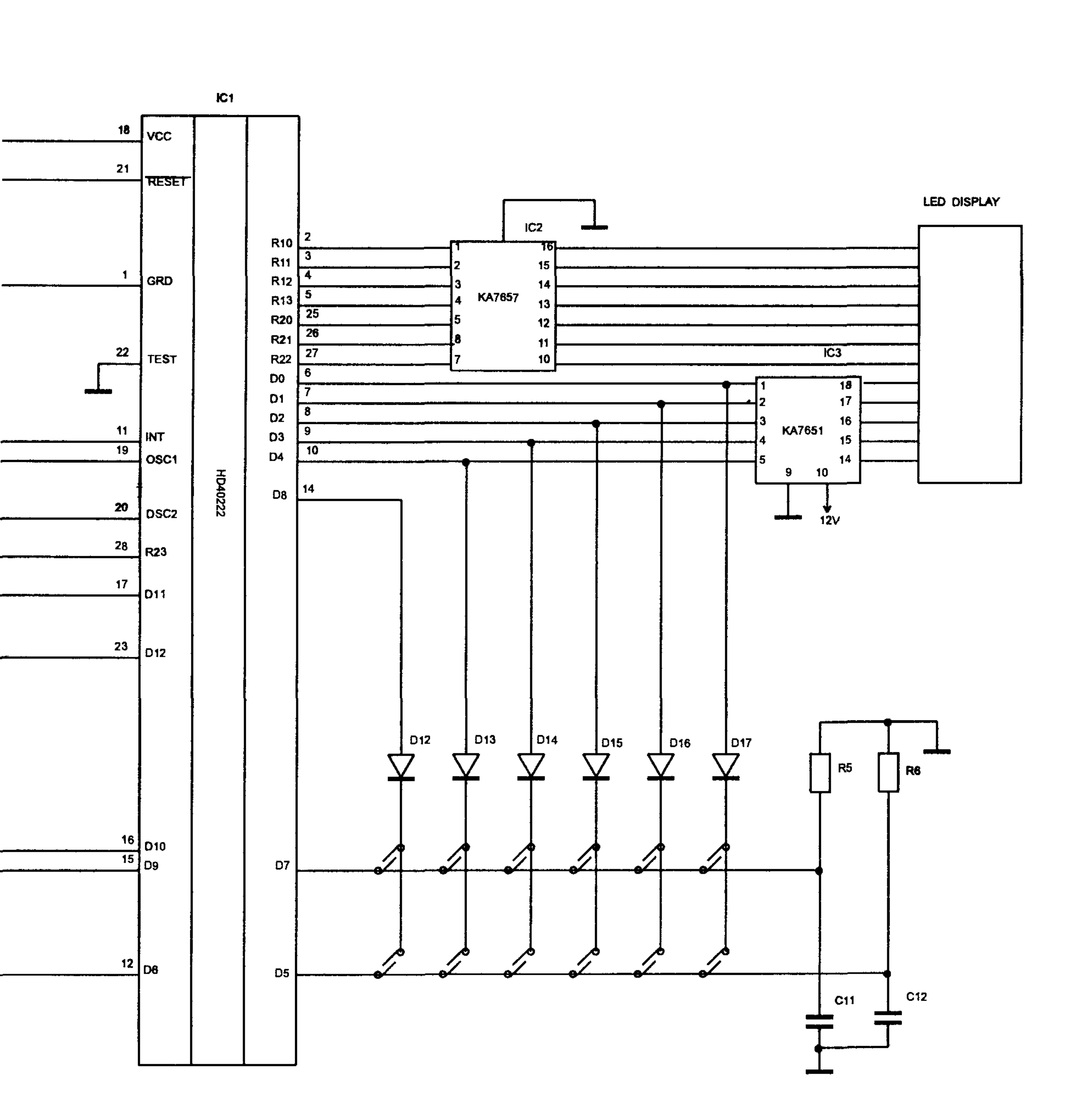



Рис. 3.33. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “M6245 Samsung”


IC1
HD40222
VCC
RESET
GRD
TEST
INT
OSC1
DSC2
R23
D11
D12
D10
D9
D6
R10
R11
R12
R13
R20
R21
R22
D0
D1
D2
D3
D4
D8
D7
D5
IC2
KA7657
IC3
KA7651
12V
LED DISPLAY
D12
D13
D14
D15
D16
D17
R5
R6
C11
C12

# Микроволновая печь “M7145 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.34, блока управпения на рис. 3.35 Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.23.

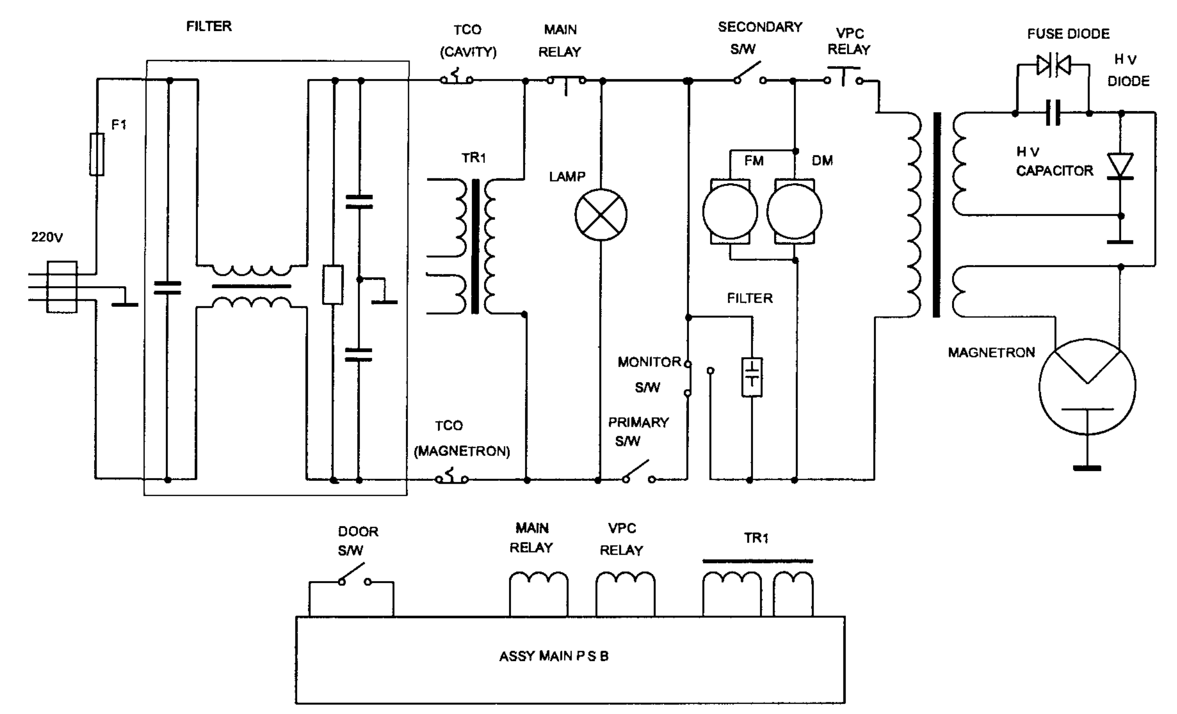



Рис. 3.34. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M7145 Samsung”

Таблица 3.23. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “M7145 Samsung”

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер 7MS2675 | |
| 2 | VT1, VT2 | Транзистор D882-Y | |
| 3 | VT3 — VT9 | Транзистор C815-Y | |
| 4 | VT10 | Транзистор A534 | |
| 5 | VD1 — VD4 | Диод 1N4001 | |
| 6 | VD5, VD6 | Диод US1040 | |
| 7 | VD7 — VD10 | Диод 1N4001 | |
| 8 | VD11 — VD17 | Диод US1040 | |
| 9 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 10 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 11 | ZD3 | Стабилитрон 9 V, 0.5 W | |
| 12 | ZD4 | Стабилитрон 7.5 V, 0.5 W | |
| 13 | R1 — R4 | Резистор 470 Ом | |
| 14 | R5 | Резистор 10 K | |

**Таблица 3.23. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "M7145 Samsung"**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 15 | R6 | Резистор 3.9 K | |
| 16 | R7 | Резистор 20 K | |
| 17 | R8 | Резистор 10 K | |
| 18 | R9 | Резистор 1.2 K | |
| 19 | R10, R11 | Резистор 10 K | |
| 20 | R12 | Резистор 3.3 K | |
| 21 | R13 — R15 | Резистор 10 K | |
| 22 | R16 | Резистор 1 K | |
| 23 | R17, R18 | Резистор 10 K | |
| 24 | R19, R20 | Резистор 47 K | |
| 25 | R21 — R23 | Резистор 10 K | |
| 26 | R24 | Резистор 1.2 K | |
| 27 | R25 | Резистор 4.7 K | |
| 28 | R26 | Резистор 5.6 K | |
| 29 | R27 | Резистор 4.7 K | |
| 30 | R28 | Резистор 26 K | |
| 31 | R29 | Резистор 500 Ом | |
| 32 | R30 | Резистор 10 K | |
| 33 | R31 | Резистор 9.2 K | |
| 34 | R32 | Резистор 500 Ом | |
| 35 | R33 | Резистор 405 Ом | |
| 36 | R34, R35 | Резистор 47 K | |
| 37 | AR1, AR2 | Резисторная матрица 47 K*7 | |
| 38 | AR3 | Резисторная матрица 100 K*4 | |
| 39 | C1 | Конденсатор электролитический 2200 мкФ | |
| 40 | C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 41 | C3 | Конденсатор электролитический 3300 мкФ | |
| 42 | C4, C5 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 43 | C6 - C9 | Конденсатор 100 пФ | |
| 44 | CR | Резонатор пьезоэлектрический | |
| 45 | HG | Индикатор люминисцентный 6ME-06 | |
| 46 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |

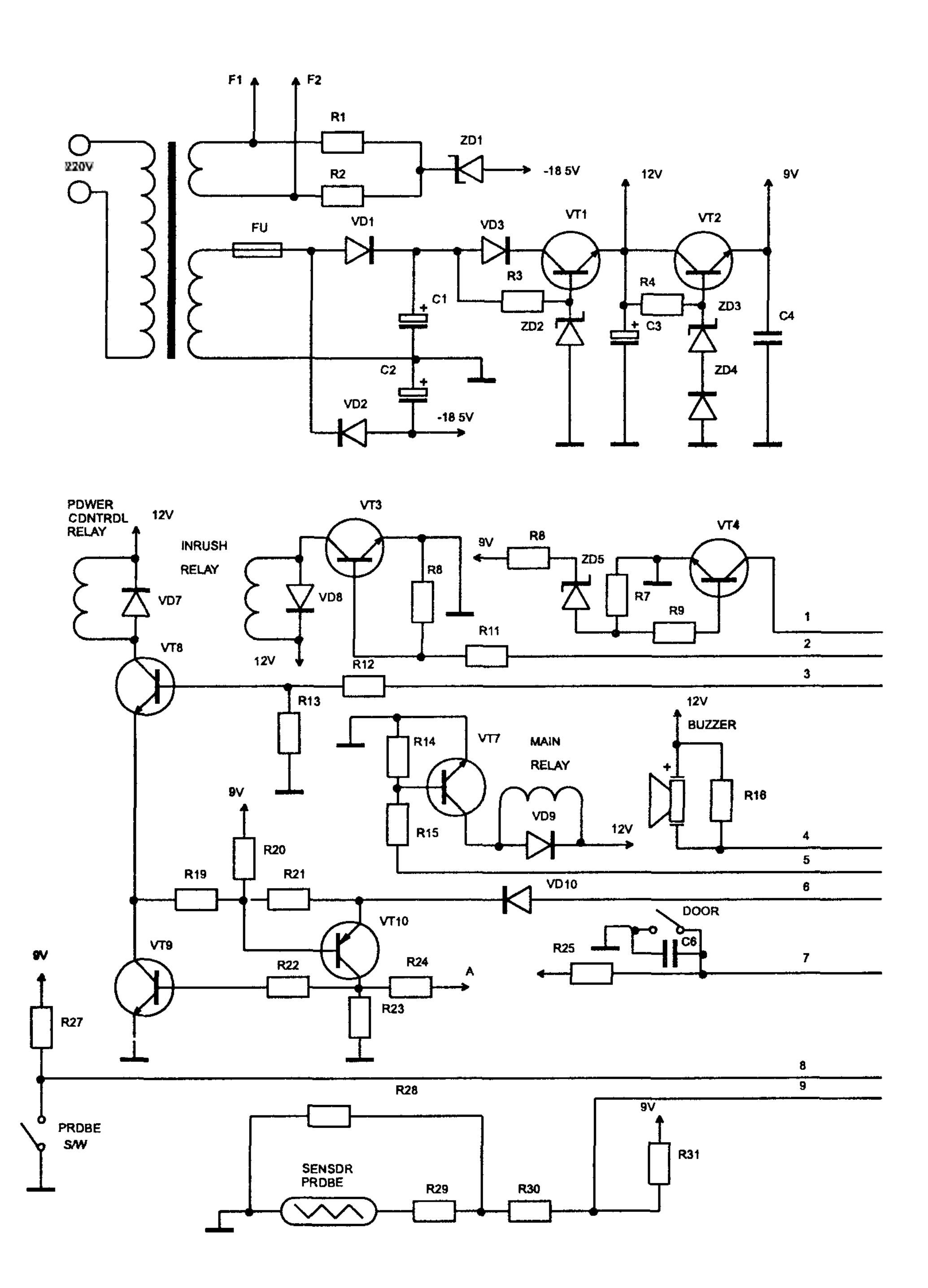
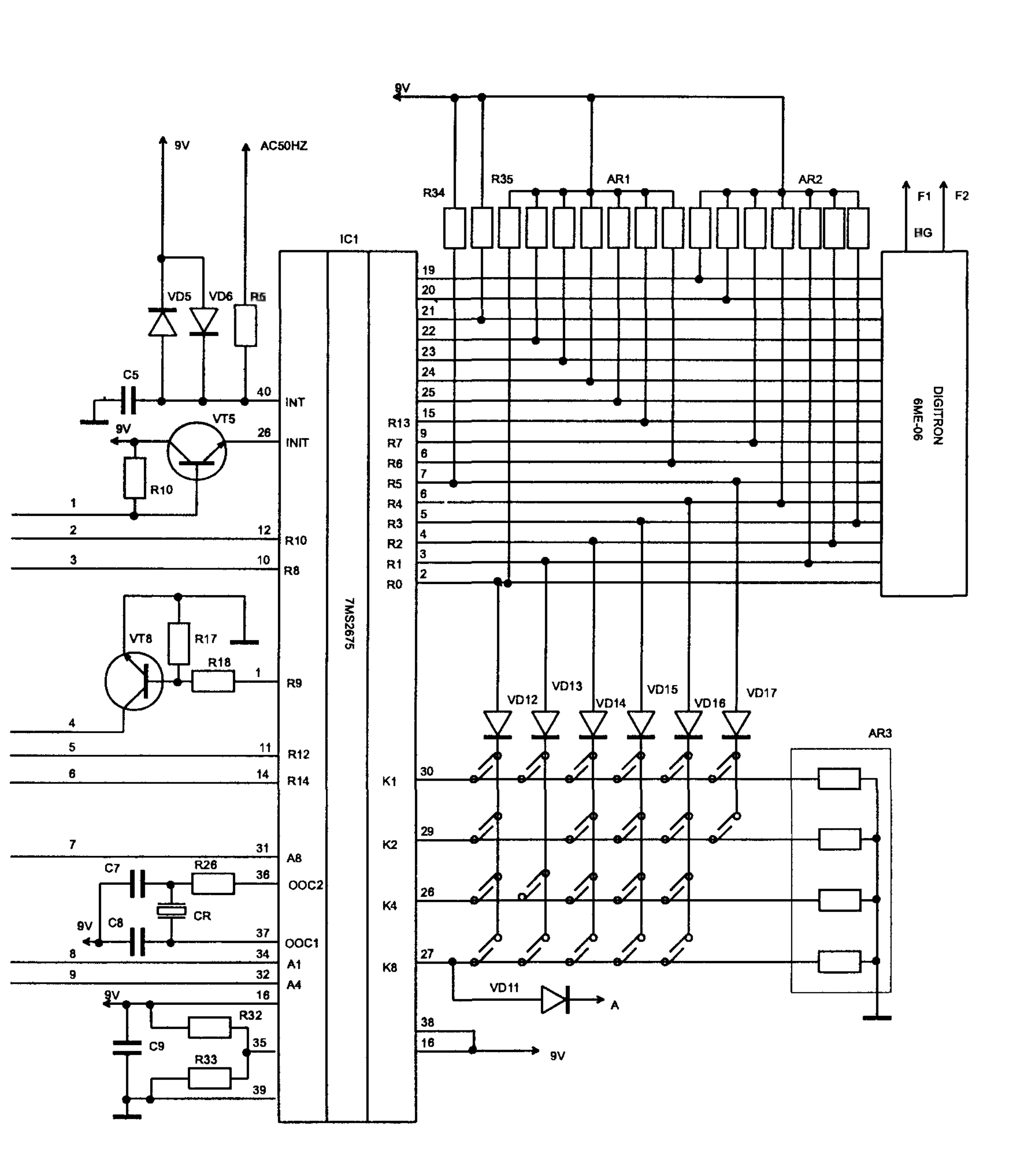



Рис. 3.35. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "M7145 Samsung"


9V
AC50HZ
VD5
VD6
R6
C5
40
INT
9V
VT5
26
INIT
R10
IC1
7MS2675
R34
R35
AR1
AR2
F1
F2
HG
DIGITRON
6ME-06
R13
R7
R6
R5
R4
R3
R2
R1
R0
R10
R8
VT8
R17
R18
R9
R12
R14
A8
C7
R26
OOC2
CR
C8
OOC1
A1
A4
R32
C9
R33
VD12
VD13
VD14
VD15
VD16
VD17
AR3
K1
K2
K4
K8
VD11
A
9V

## Микроволновая печь “M8134 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.36.

## Микроволновая печь “M8145 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.37, блока управления на рис. 3.38 Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.24.

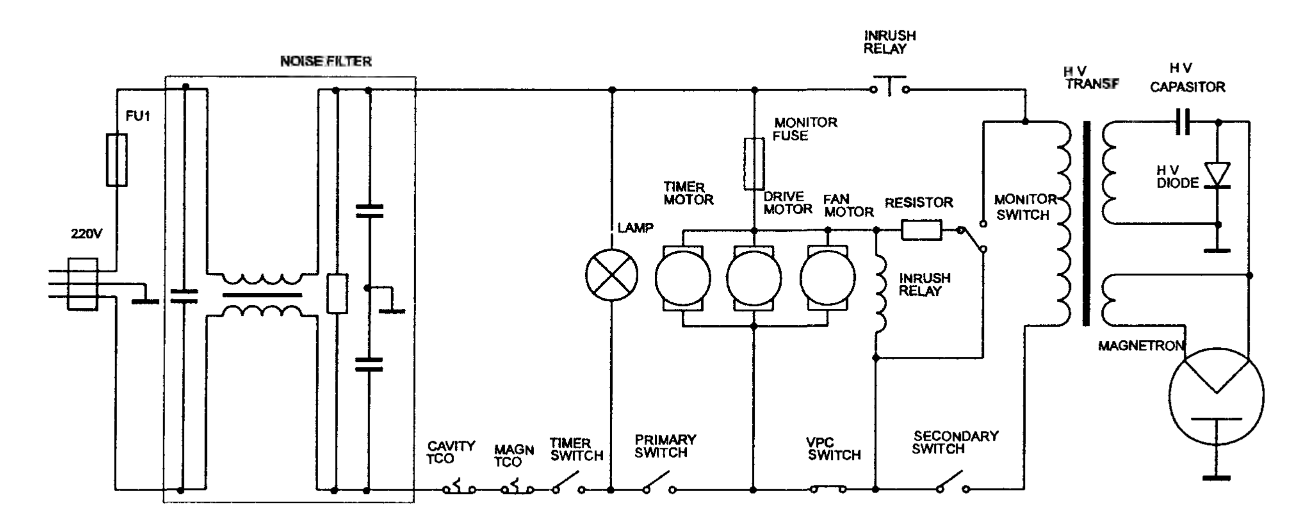



Рис. 3.36. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M8134 Samsung”



Рис. 3.37. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M8145 Samsung”

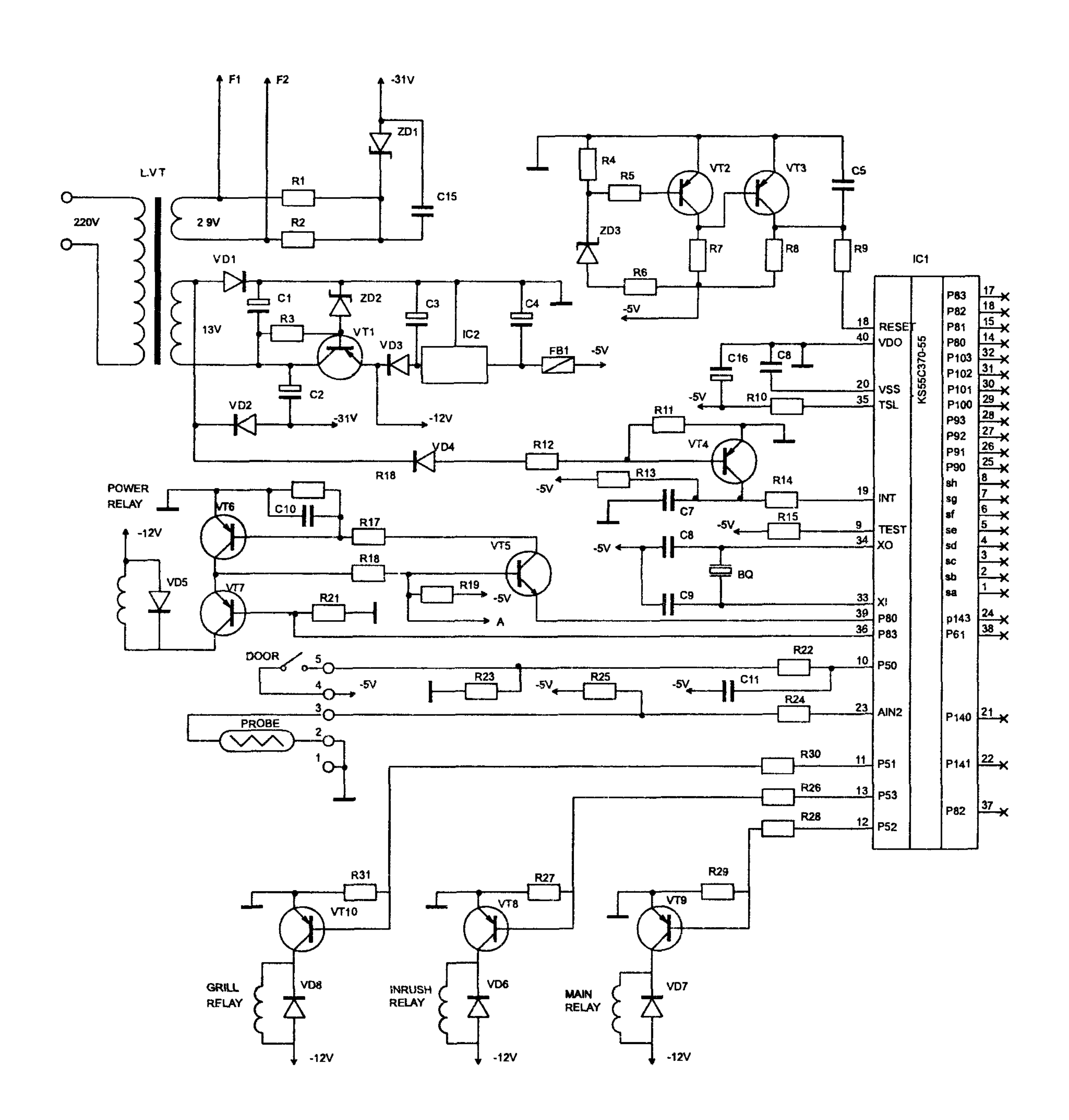



Рис. 3.38. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “M8145 Samsung”

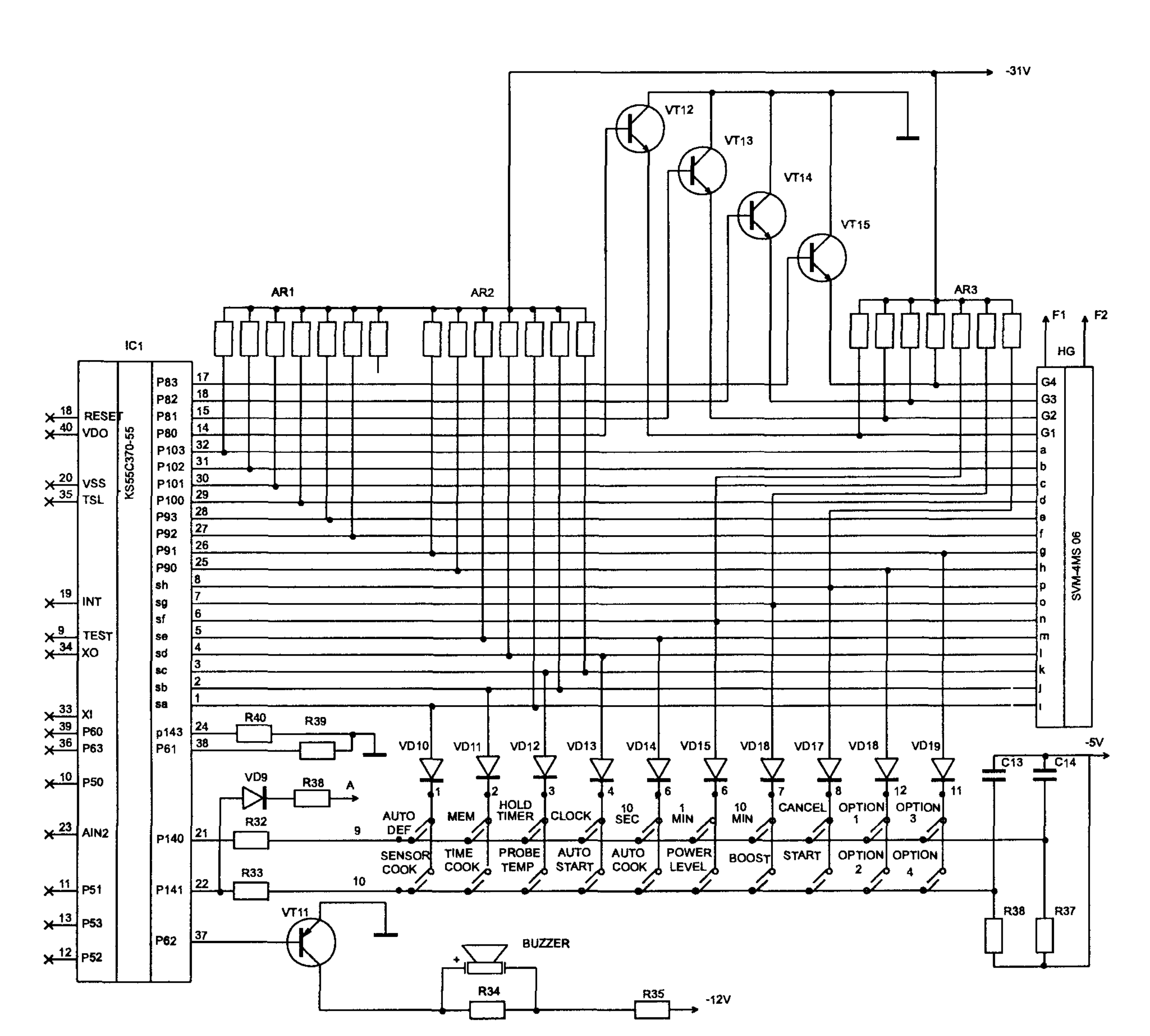



Рис. 3.38. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "M8145 Samsung" (продолжение)

Таблица 3.24. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "M8145 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер KS55C370 | |
| 2 | IC2 | Микросхема 7905 | |
| 3 | VT1 | Транзистор B772 | |
| 4 | VT2 — VT4 | Транзистор A539-Y | |
| 5 | VT5 | Транзистор C815-Y | |
| 6 | VT6, VT7 | Транзистор A539-Y | |
| 7 | VT8 - VT10 | Транзистор KSA539-Y | |
| 8 | VT11 | Транзистор KSR2005 | |
| 9 | VT12 — VT15 | Транзистор KSR1005 | |
| 10 | VD1 — VD8 | Диод 1N4001 | |
| 11 | VD9 — VD19 | Диод 1N4148 | |
| 12 | ZD1 | Стабилитрон 7.5 V, 1 W | |
| 13 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 14 | ZD3 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 15 | R1, R2 | Резистор 330 Ом | |
| 16 | R3, R4 | Резистор 470 Ом | |
| 17 | R5 | Резистор 510 Ом | |
| 18 | R6 | Резистор 470 Ом | |
| 19 | R7 | Резистор 5.1 K | |
| 20 | R8 | Резистор 5 K | |
| 21 | R9 | Резистор 1 K | |
| 22 | R10, R11 | Резистор 3.9 K | |
| 23 | R12 | Резистор 10 K | |
| 24 | R13 | Резистор 4.7 K | |
| 25 | R14 | Резистор 5 K | |
| 26 | R15 | Резистор 3.9 K | |
| 27 | R16 | Резистор 10 K | |
| 28 | R17 | Резистор 3.9 K | |
| 29 | R18 — R20 | Резистор 10 K | |

Таблица 3.24. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "M8145 Samsung" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R21, R22 | Резистор 3.9 K | |
| 31 | R23 | Резистор 10 K | |
| 32 | R24 | Резистор 3.9 K | |
| 33 | R25 | Резистор 10 K | |
| 34 | R26 | Резистор 3.9 K | |
| 35 | R27 | Резистор 10 K | |
| 36 | R28 | Резистор 3.9 K | |
| 37 | R29 | Резистор 10 K | |
| 38 | R30 | Резистор 3.9 K | |
| 39 | R31 | Резистор 10 K | |
| 40 | R32, R33 | Резистор 3.9 K | |
| 41 | R34 | Резистор 1 K | |
| 42 | R35 | Резистор 100 Ом | |
| 43 | R36, R37 | Резистор 47 K | |
| 44 | R38 — R40 | Резистор 3.3 K | |
| 45 | C1, C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 46 | C3 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 47 | C4 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 48 | C5 — C7 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 49 | C8 — C9 | Конденсатор 27 пФ | |
| 50 | C10 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 51 | C11, C12 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 52 | C13 — C14 | Конденсатор 3300 пФ | |
| 53 | C15 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 54 | AR1 — AR3 | Резисторная матрица BE473JYV | |
| 55 | CR | Резонатор пьезоэлектрический CSA - 2.00MG | |
| 56 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 57 | HG | Индикатор SVM-4MS10 | |

# Микроволновая печь "M9245 Samsung"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.39, блока управления на рис 3.40. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.25.

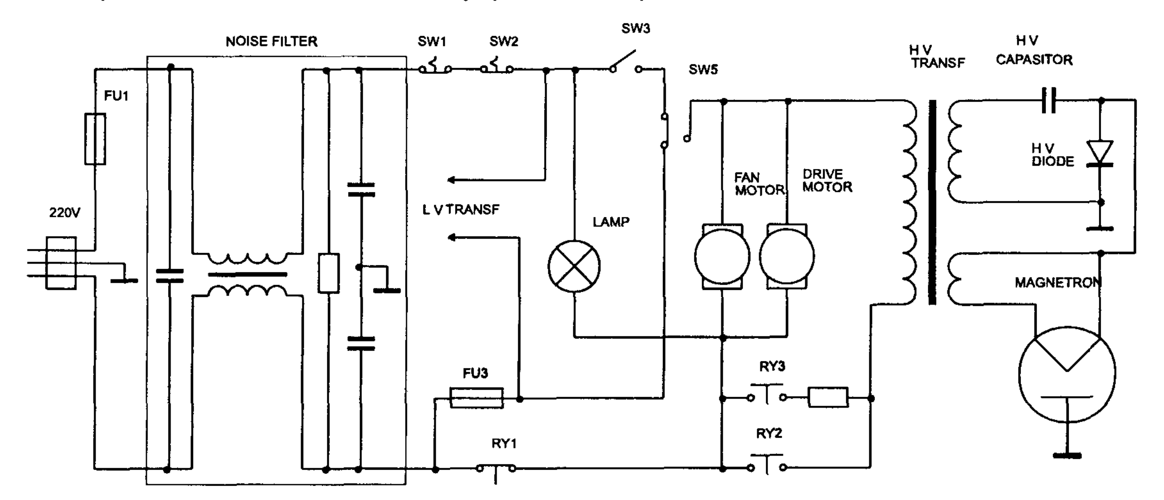



**Рис. 3.39. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "M9245 Samsung"**

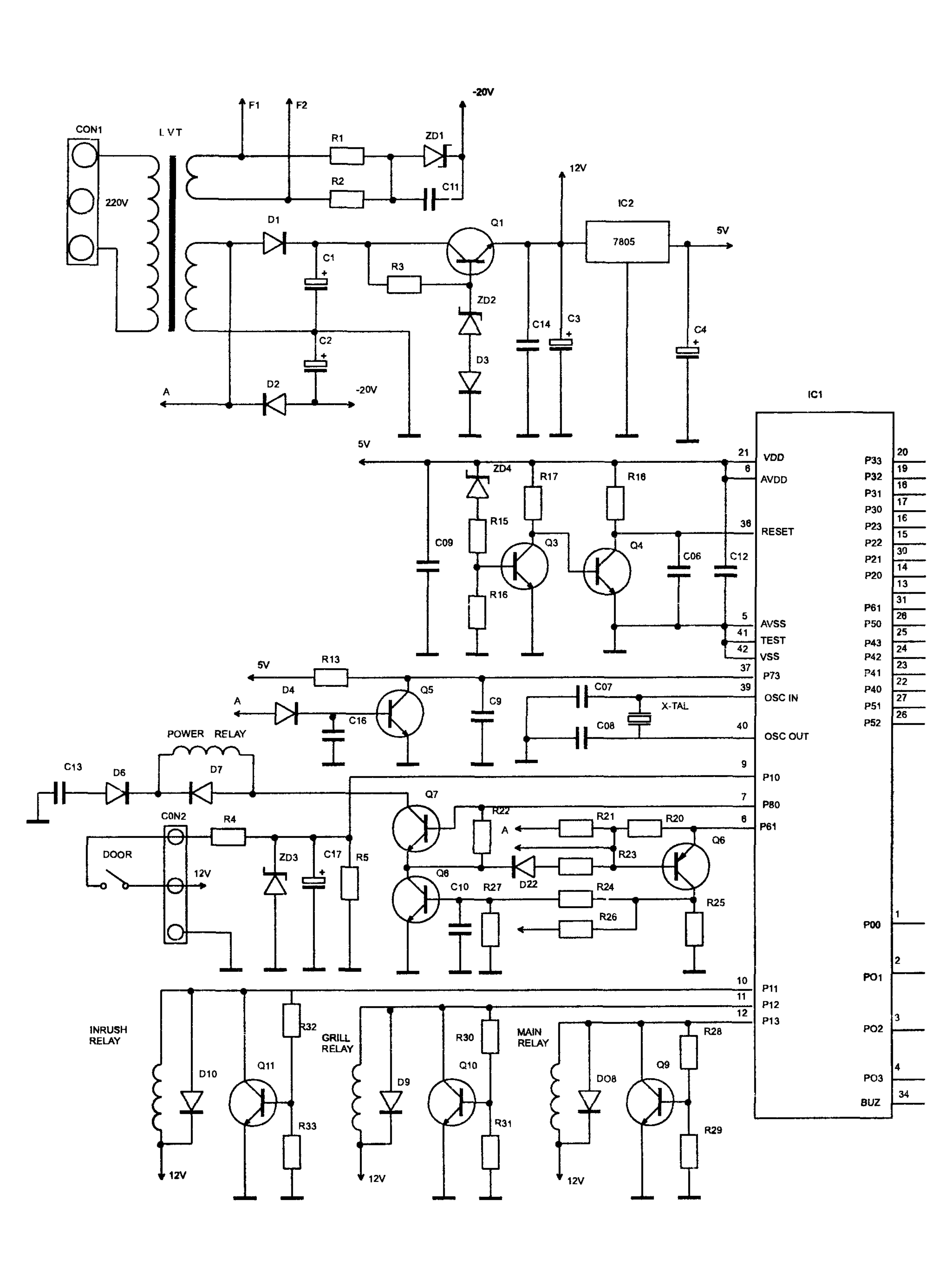



Рис. 3.40. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “M9245 Samsung”

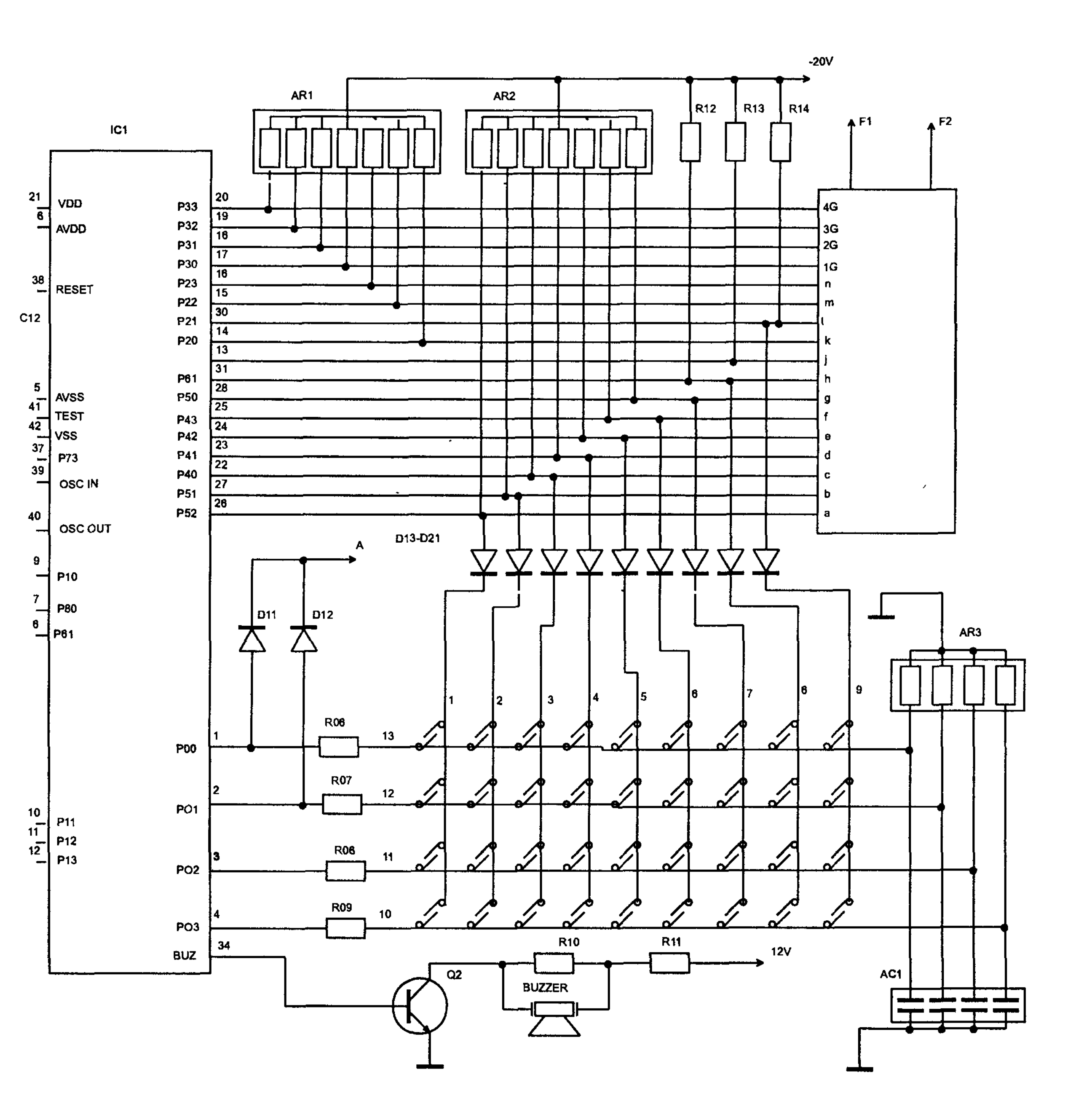

IC1
AR1
AR2
-20V
R12
R13
R14
F1
F2
VDD
AVDD
RESET
C12
AVSS
TEST
VSS
P73
OSC IN
OSC OUT
P10
P80
P61
P11
P12
P13
P33
P32
P31
P30
P23
P22
P21
P20
P61
P50
P43
P42
P41
P40
P51
P52
P00
PO1
PO2
PO3
BUZ
4G
3G
2G
1G
D13-D21
D11
D12
A
AR3
R06
R07
R08
R09
R10
R11
12V
Q2
BUZZER
AC1

Таблица 3.25. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "M9245 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер KS56C671 | |
| 2 | IC2 | Микросхема 7805 | |
| 3 | Q1 | Транзистор D882 | |
| 4 | Q2 | Транзистор R1005 | |
| 5 | Q3, Q4 | Транзистор C815 | |
| 6 | Q5 | Транзистор R1005 | |
| 7 | Q6 | Транзистор A539-Y | |
| 8 | Q7 — Q11 | Транзистор C815-Y | |
| 9 | D1, D2 | Диод 1N4004 | |
| 10 | D3 | Диод 1N4148 | |
| 11 | D4 | Диод 1N4004 | |
| 12 | D5 | Диод 1N4148 | |
| 13 | D6 — D10 | Диод 1N4004 | |
| 14 | D11 — D22 | Диод 1N4148 | |
| 15 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 16 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 17 | ZD3 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 18 | ZD4 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 19 | R1, R2 | Резистор 330 Ом | |
| 20 | R3 | Резистор 470 Ом | |
| 21 | R4 | Резистор 1 K | |
| 22 | R5 | Резистор 2 K | |
| 23 | R6 — R9 | Резистор 3.9 K | |
| 24 | R10 | Резистор 1 K | |
| 25 | R11 | Резистор 100 Ом | |
| 26 | R12 — R14 | Резистор 47 K | |
| 27 | R15 | Резистор 1.2 K | |
| 28 | R16 | Резистор 2.2 K | |
| 29 | R17, R18 | Резистор 1.2 K | |

**Таблица 3.25. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “M9245 Samsung” (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R19, R22 | Резистор 10 K | |
| 31 | R23, R24 | Резистор 3.9 K | |
| 32 | R25 | Резистор 100 K | |
| 33 | R26 | Резистор 3.9 K | |
| 34 | R27 | Резистор 10 K | |
| 35 | R28 | Резистор 3.9 K | |
| 36 | R29 | Резистор 10 K | |
| 37 | R30 | Резистор 3.9 K | |
| 38 | R31 | Резистор 10 K | |
| 39 | R32 | Резистор 3.9 K | |
| 40 | R33 | Резистор 10 K | |
| 41 | AR1 — AR3 | Резисторная матрица 47 K | |
| 42 | C1 | Конденсатор электролитический 100 мкФ | |
| 43 | C2, C3 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 44 | C4 | Конденсатор электролитический 22 мкФ | |
| 45 | C5, C6 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 46 | C7, C8 | Конденсатор 27 пФ | |
| 47 | C9 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 48 | C10 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 49 | C11 — C16 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 50 | C17 | Конденсатор электролитический 1 мкФ | |
| 51 | AC1 | Набор конденсаторов 330 пФ | |
| 52 | CR | Резонатор пьезоэлектрический | |
| 53 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 54 | HG | Индикатор люминисцентный | |

# Микроволновая печь “MX146 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.41, блока управления на рис. 3.42. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.26.

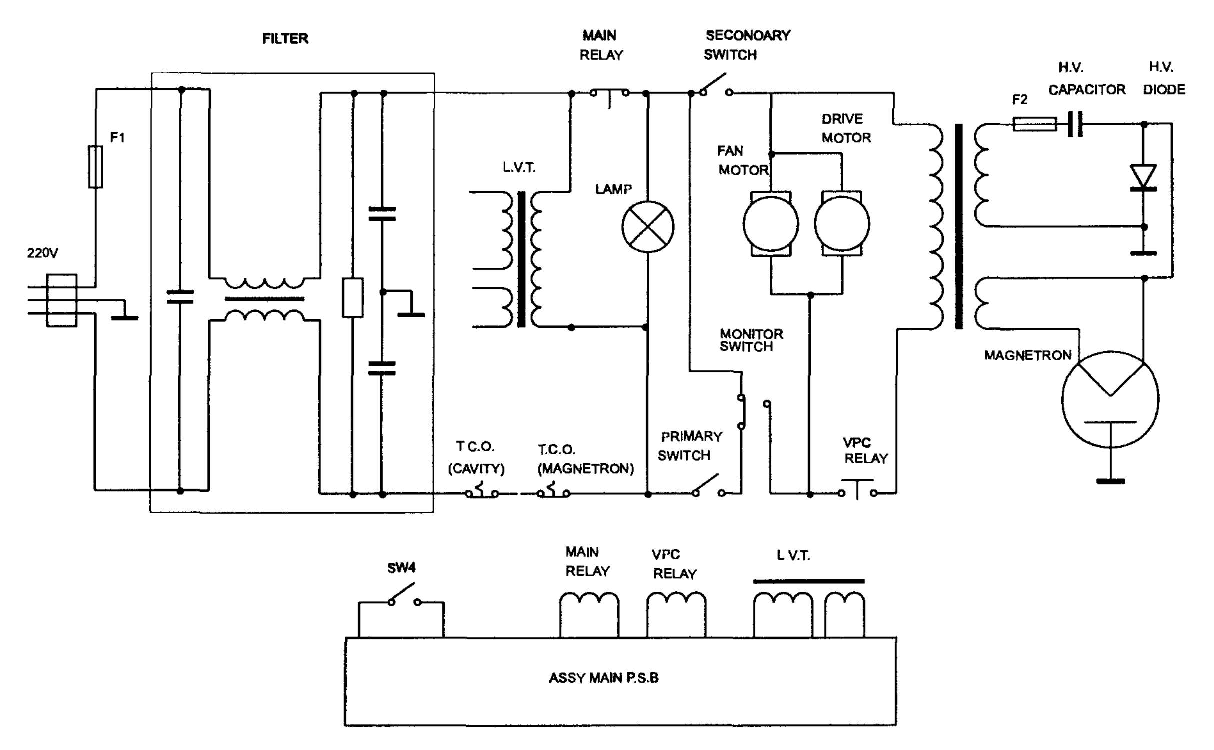



**Рис. 3.41. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “MX146 Samsung”**

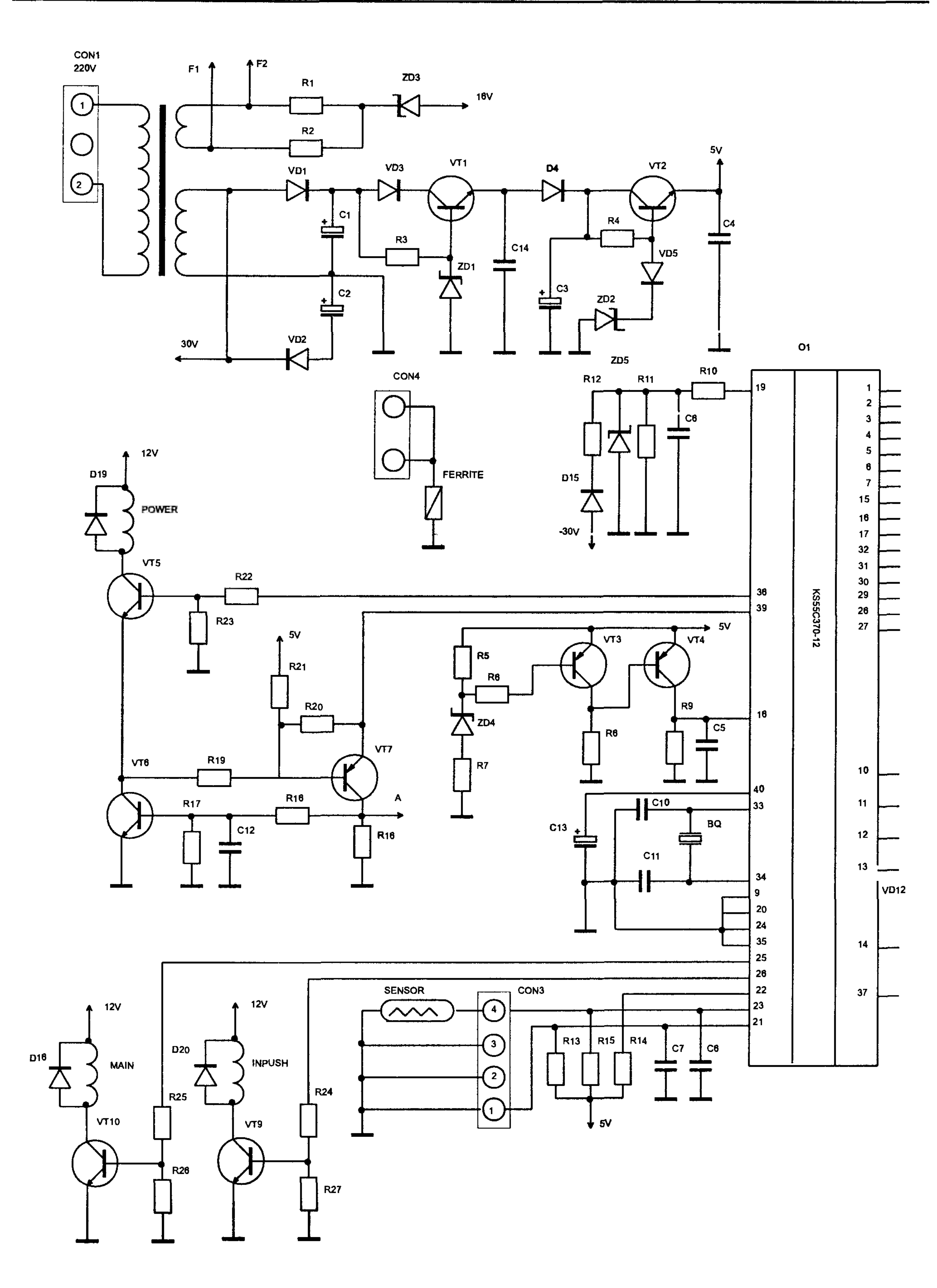



Рис. 3.42. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “MX146 Samsung”

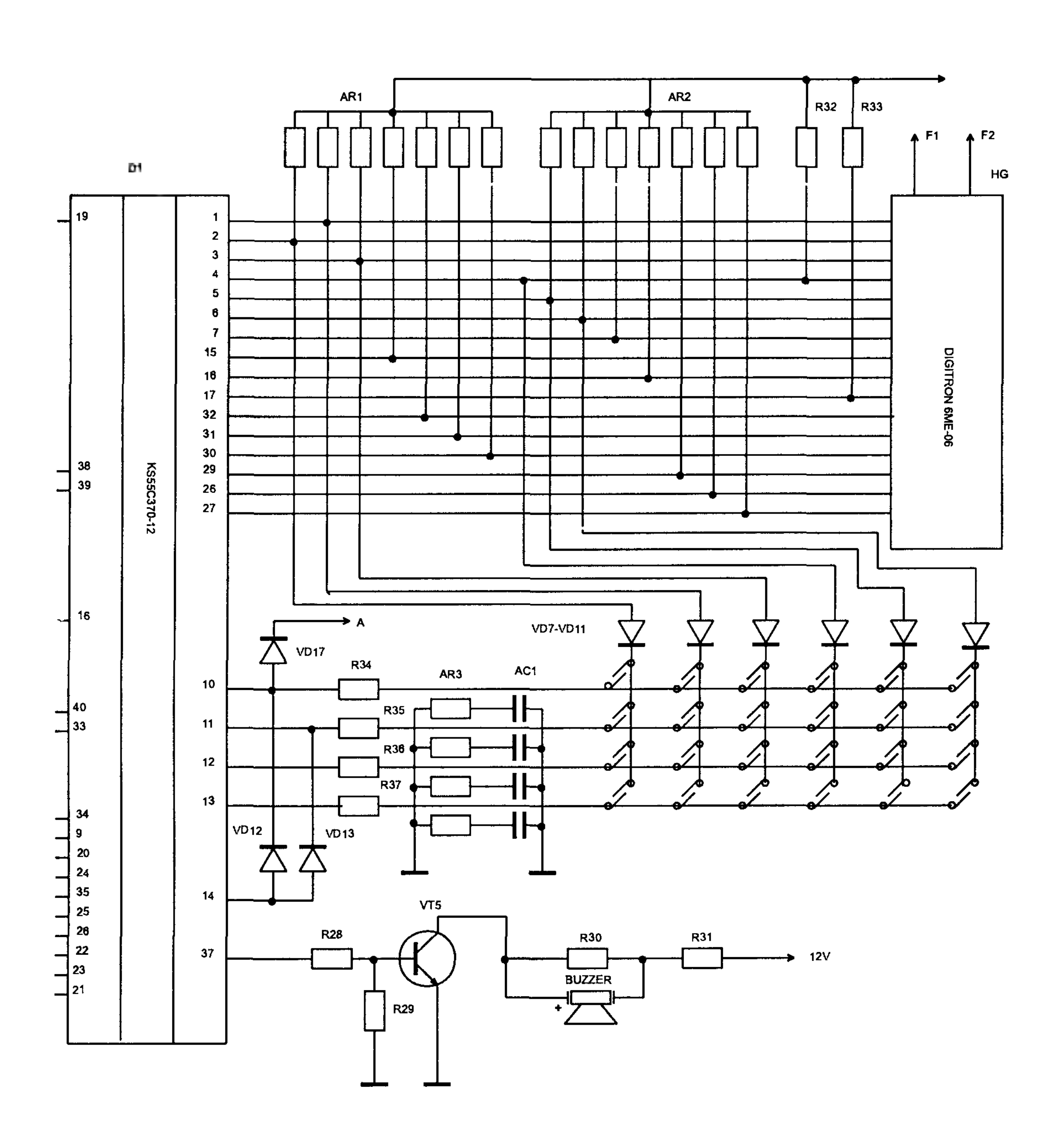



Рис. 3.42. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “MX146 Samsung” (продолжение)

Таблица 3.26. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "MX146 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер KS55C370-12 | |
| 2 | VT1, VT2 | Транзистор KSD882-Y | |
| 3 | VT3, VT4 | Транзистор KSA539-Y | |
| 4 | VT5, VT6 | Транзистор KSC815-Y | |
| 5 | VT7 | Транзистор KSA539-Y | |
| 6 | VT8 — VT10 | Транзистор KSC815-Y | |
| 7 | VD1 — VD4 | Диод 1N4001 | |
| 8 | VD5 — VD13 | Диод US1040 | |
| 9 | VD16 | Диод 1N4001 | |
| 10 | VD17 | Диод US1040 | |
| 11 | VD18 — VD20 | Диод 1N4001 | |
| 12 | ZD1 | Стабилитрон 13V, 0.5W | |
| 13 | ZD2 | Стабилитрон UZP 5.1 BTR | |
| 14 | ZD3 | Стабилитрон UZP 5.1 BTR | |
| 15 | ZD4 | Стабилитрон UZ 3.9 BTR | |
| 16 | ZD5 | Стабилитрон UZP 5.1 BTR | |
| 17 | R1, R2 | Резистор 330 Ом | |
| 18 | R3 — R5 | Резистор 470 Ом | |
| 19 | R6 | Резистор 12 K | |
| 20 | R7 | Резистор 470 Ом | |
| 21 | R8 | Резистор 10 K | |
| 22 | R9 | Резистор 2 K | |
| 23 | R10 | Резистор 4.7 K | |
| 24 | R11 | Резистор 47 K | |
| 25 | R12 — R14 | Резистор 4.7 K | |
| 26 | R15 | Резистор 9.2 K | |
| 27 | R16 | Резистор 20 K | |
| 28 | R17 | Резистор 10 K | |
| 29 | R18 | Резистор 3.3 K | |
| 30 | R19 | Резистор 10 K | |

**Таблица 3.26. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “MX146 Samsung” (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 31 | R20, R21 | Резистор 20 K | |
| 32 | R22 | Резистор 3.3 K | |
| 33 | R23 | Резистор 10 K | |
| 34 | R24, R25 | Резистор 3.3 K | |
| 35 | R26, R27 | Резистор 10 K | |
| 36 | R28 | Резистор 3.3 K | |
| 37 | R29 | Резистор 10 K | |
| 38 | R30 | Резистор 1 K | |
| 39 | R31 | Резистор 100 Ом | |
| 40 | R32, R33 | Резистор 47 K | |
| 41 | R34, R37 | Резистор 2 K | |
| 42 | AR1 — AR2 | Резисторная матрица BE473JYV, 47 K | |
| 43 | AR3 | Резисторная матрица BE103JYV, 10 K | |
| 44 | C1 — C3 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 45 | C4 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 46 | C5 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 47 | C6 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 48 | C7, C8 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 49 | C10, C11 | Конденсатор 27 пФ | |
| 50 | C12 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 51 | C13 | Конденсатор электролитический 10 мкФ | |
| 52 | AC1 | Конденсаторная матрица 4700 Пф*6 | |
| 53 | CR | Резонатор пьезоэлектрический CSA - 2.00MG | |
| 54 | BUZZER | Звонок пьезокерамический C8E2220BA | |
| 55 | HG | Индикатор 6ME06 | |
| 56 | L.V.T. | Трансформатор DY616STC 230V\13V\2.4V | |

# Микроволновая печь "MX245 Samsung"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.43, блока управления на рис. 3.44. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.27.

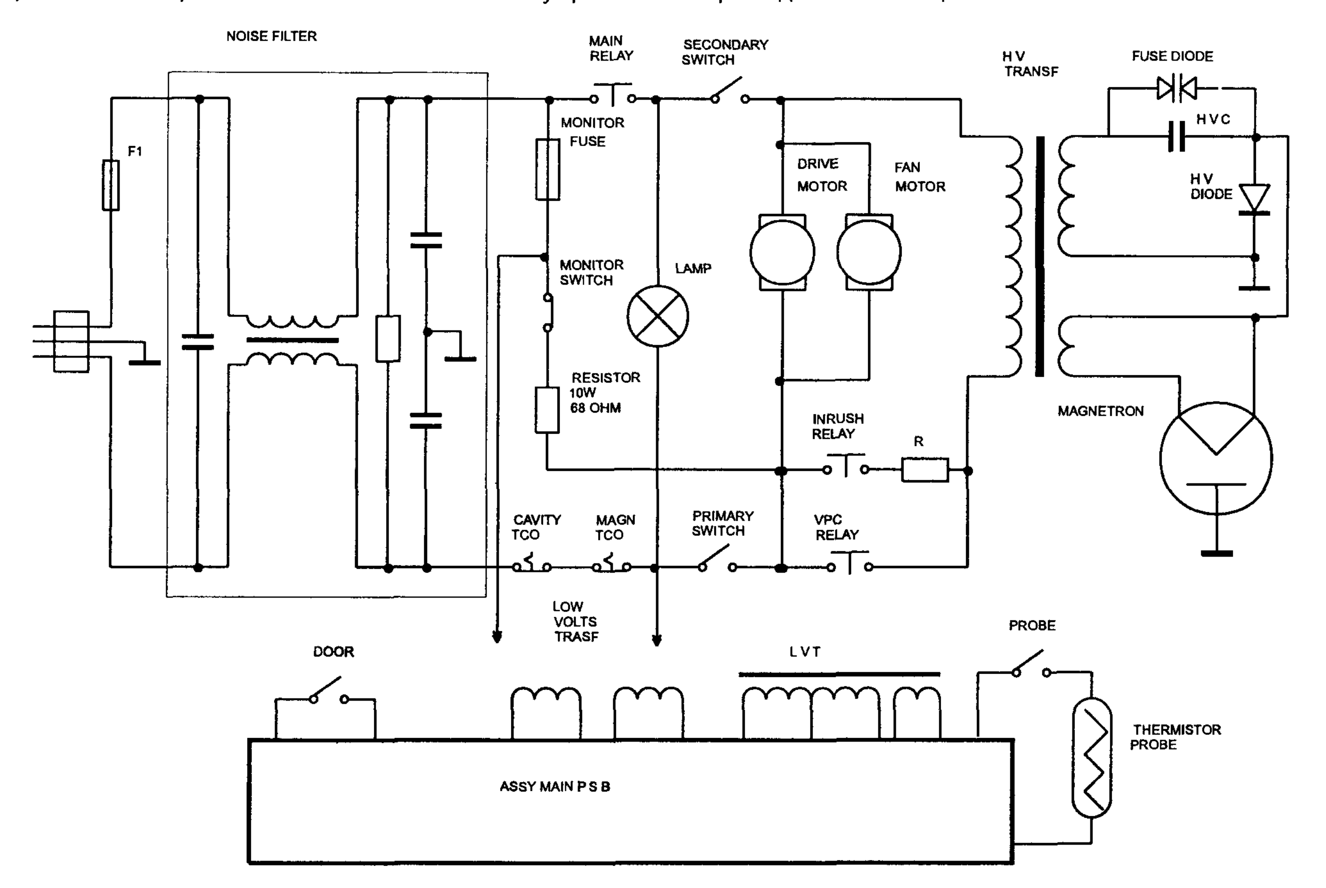



**Рис. 3.43. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "MX245 Samsung"**

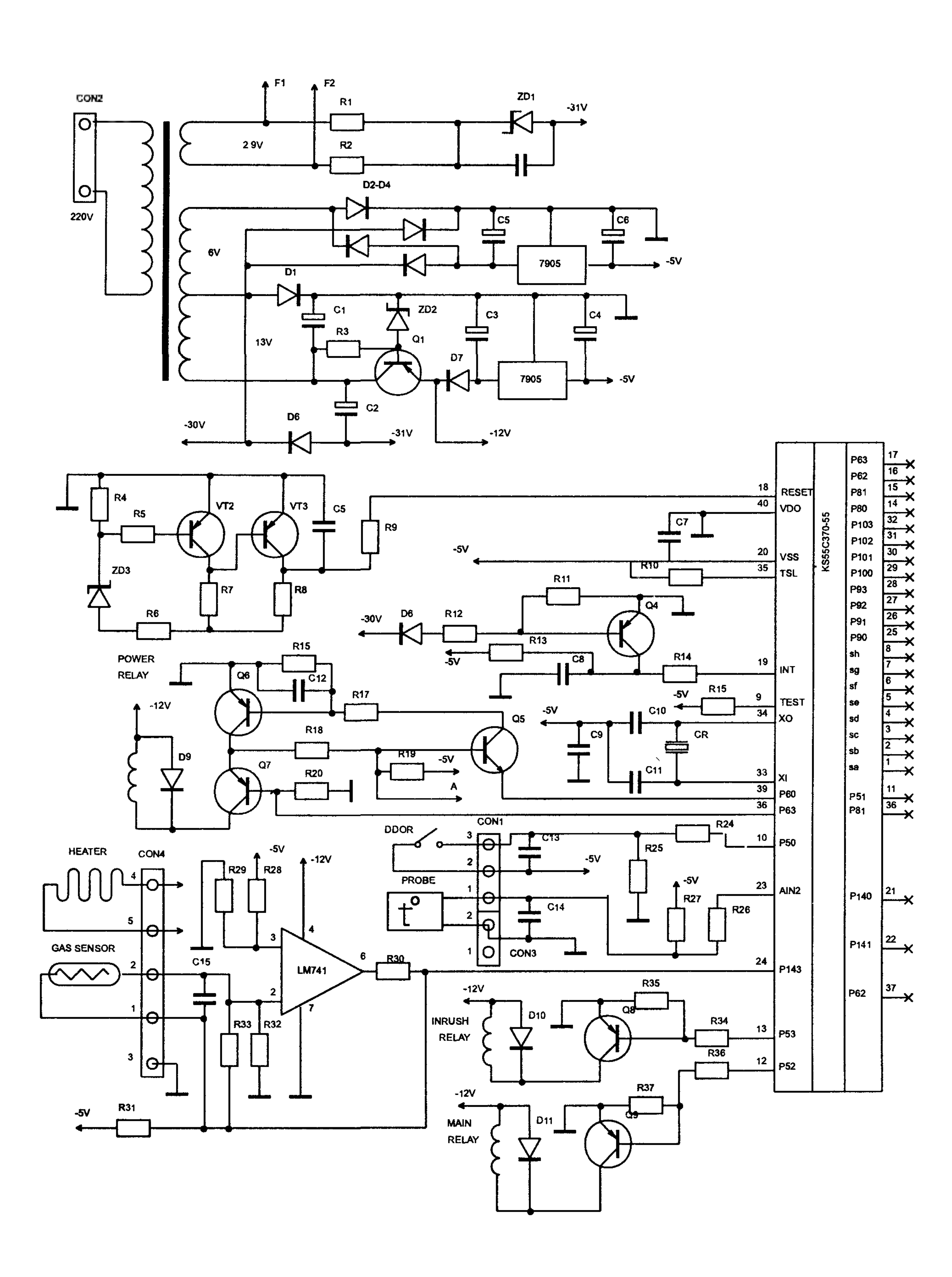



Рис. 3.44. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “MX245 Samsung”

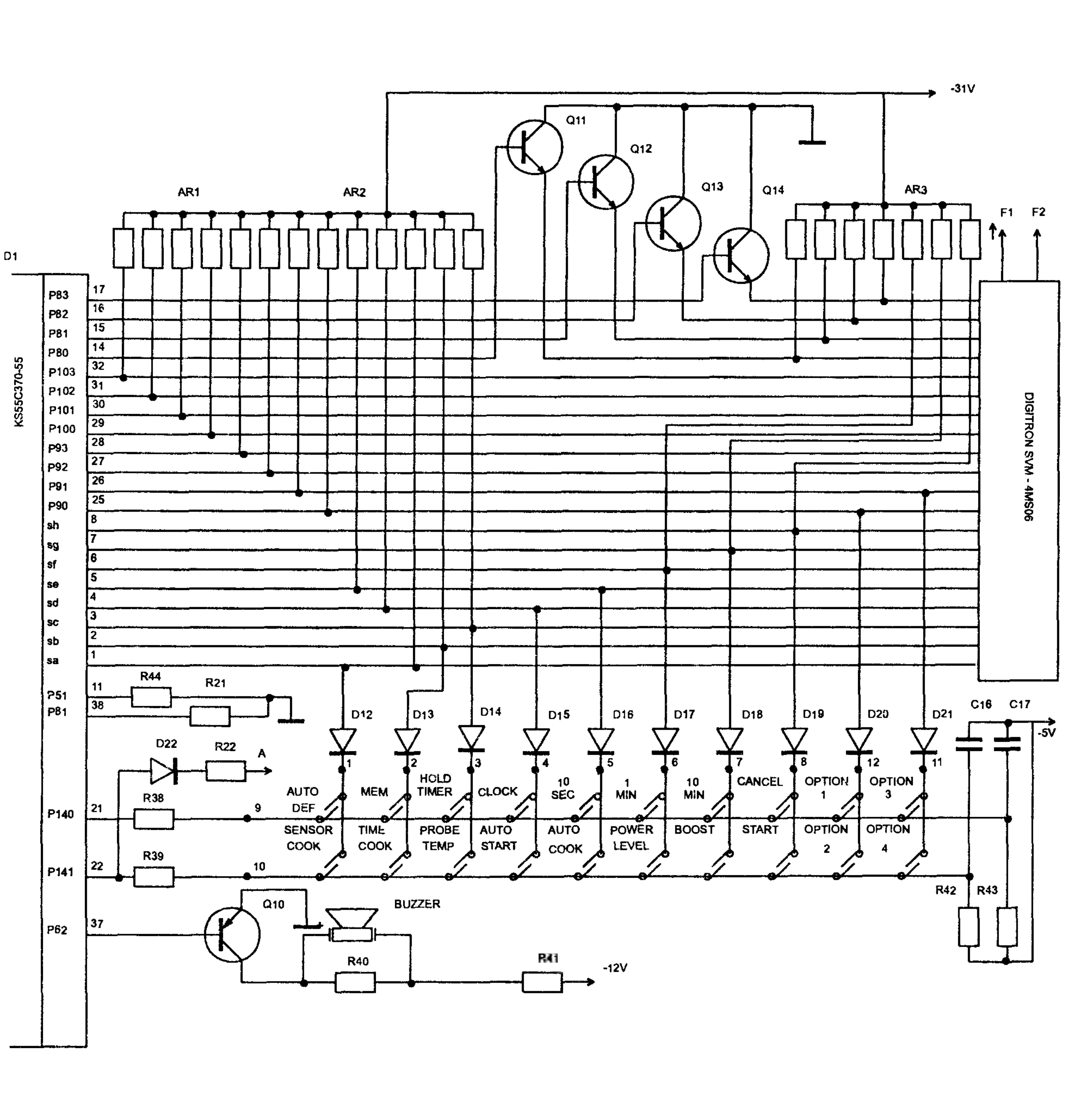

-31V
Q11
Q12
Q13
Q14
AR1
AR2
AR3
F1
F2
D1
KS55C370-55
P83
P82
P81
P80
P103
P102
P101
P100
P93
P92
P91
P90
sh
sg
sf
se
sd
sc
sb
sa
P51
P81
P140
P141
P62
DIGITRON SVM - 4MS06
R44
R21
D22
R22
A
R38
R39
D12
D13
D14
D15
D16
D17
D18
D19
D20
D21
C16
C17
-5V
AUTO DEF
MEM
HOLD TIMER
CLOCK
10 SEC
1 MIN
10 MIN
CANCEL
OPTION 1
OPTION 3
SENSOR COOK
TIME COOK
PROBE TEMP
AUTO START
AUTO COOK
POWER LEVEL
BOOST
START
OPTION 2
OPTION 4
Q10
BUZZER
R40
R41
-12V
R42
R43

Таблица 3.27. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "MX245 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер KS55C370 | |
| 2 | IC2 | Микросхема LM741 | |
| 3 | IC3 | Микросхема 7905 | |
| 4 | Q1 | Транзистор B772 | |
| 5 | Q2 — Q4 | Транзистор A539-Y | |
| 6 | Q5 | Транзистор C815-Y | |
| 7 | Q6 — Q9 | Транзистор A539-Y | |
| 8 | Q10 | Транзистор KSR2005 | |
| 9 | Q11 — Q14 | Транзистор KSR1005 | |
| 10 | D1 — D11 | Диод 1N4001 | |
| 11 | D12 — D22 | Диод 1N4148 | |
| 12 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 13 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 14 | ZD3 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 15 | R1, R2 | Резистор 330 Ом | |
| 16 | R3 — R5 | Резистор 470 Ом | |
| 17 | R6 | Резистор 560 Ом | |
| 18 | R7 | Резистор 5.6 K | |
| 19 | R8 | Резистор 5 K | |
| 20 | R9 | Резистор 1 K | |
| 21 | R10, R11 | Резистор 3.9 K | |
| 22 | R12 | Резистор 10 K | |
| 23 | R13 | Резистор 4.7 K | |
| 24 | R14 | Резистор 5 K | |
| 25 | R15 | Резистор 3.9 K | |
| 26 | R16 | Резистор 10 K | |
| 27 | R17 | Резистор 3.9 K | |
| 28 | R18 — R20 | Резистор 10 K | |
| 29 | R21 — R22 | Резистор 3.3 K | |

Таблица 3.27. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "MX245 Samsung" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R23, R24 | Резистор 3.9 K | |
| 31 | R25 | Резистор 10 K | |
| 32 | R26 | Резистор 3.9 K | |
| 33 | R27 | Резистор 10 K | |
| 34 | R28 | Резистор 100 K | |
| 35 | R29 | Резистор 15 K | |
| 36 | R30 | Резистор 3.9 K | |
| 37 | R31 | Резистор 100 K | |
| 38 | R32 | Резистор 25 K | |
| 39 | R33 | Резистор 200 K | |
| 40 | R34 | Резистор 3.9 K | |
| 41 | R35 | Резистор 10 K | |
| 42 | R36 | Резистор 3.9 K | |
| 43 | R37 | Резистор 10 K | |
| 44 | R38, R39 | Резистор 3.9 K | |
| 45 | R40 | Резистор 1 K | |
| 46 | R41 | Резистор 100 Ом | |
| 47 | R42, R43 | Резистор 47 K | |
| 48 | AR1 — AR3 | Резисторная матрица 7E473JYV, 47 K | |
| 49 | C1, C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 50 | C3 | Конденсатор электролитический 1000м кФ | |
| 51 | C4, C5 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 52 | C6 | Конденсатор электролитический 100 мкФ | |
| 53 | C7 — C9 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 54 | C10 — C11 | Конденсатор 27 пФ | |
| 55 | C12 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 56 | C13, C14 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 57 | C15 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 58 | C16, C17 | Конденсатор 0.0033 мкФ | |

**Таблица 3.27. Перечень элементоа платы управления микроволновой печи "MX245 Samsung" (продолжение)**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 59 | C18 | Конденсатор 0.01 мкФ | |
| 60 | C19 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 61 | CR | Резонатор пьезоэлектрический CSA - 2.00MG | |
| 62 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 63 | HG | Индикатор SVM-4MS06 | |
| 64 | L.V.T. | Трансформатор 230V/13V/6V/2.9V | |

# Микроволновая печь "MX247 Samsung"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.45.

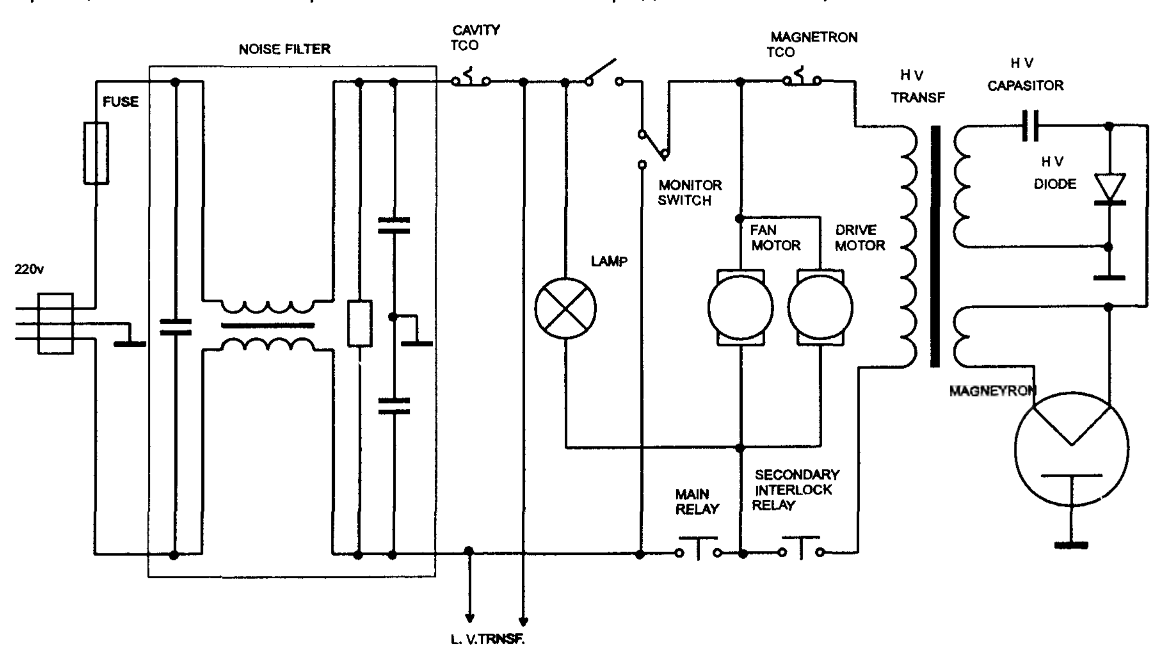



**Рис. 3.45. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "MX247 Samsung"**

# Микроволновая печь "RE1100 Samsung"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис 3 46, блока управления на рис. 3.47 Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.28

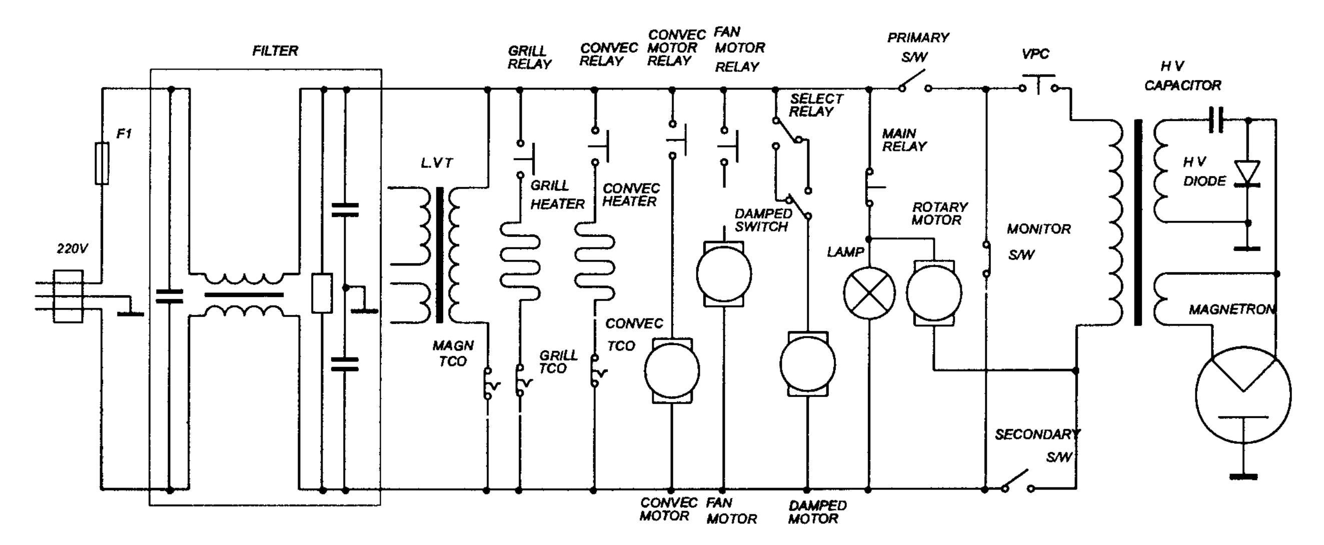



**Рис. 3.46. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "RE1100 Samsung"**

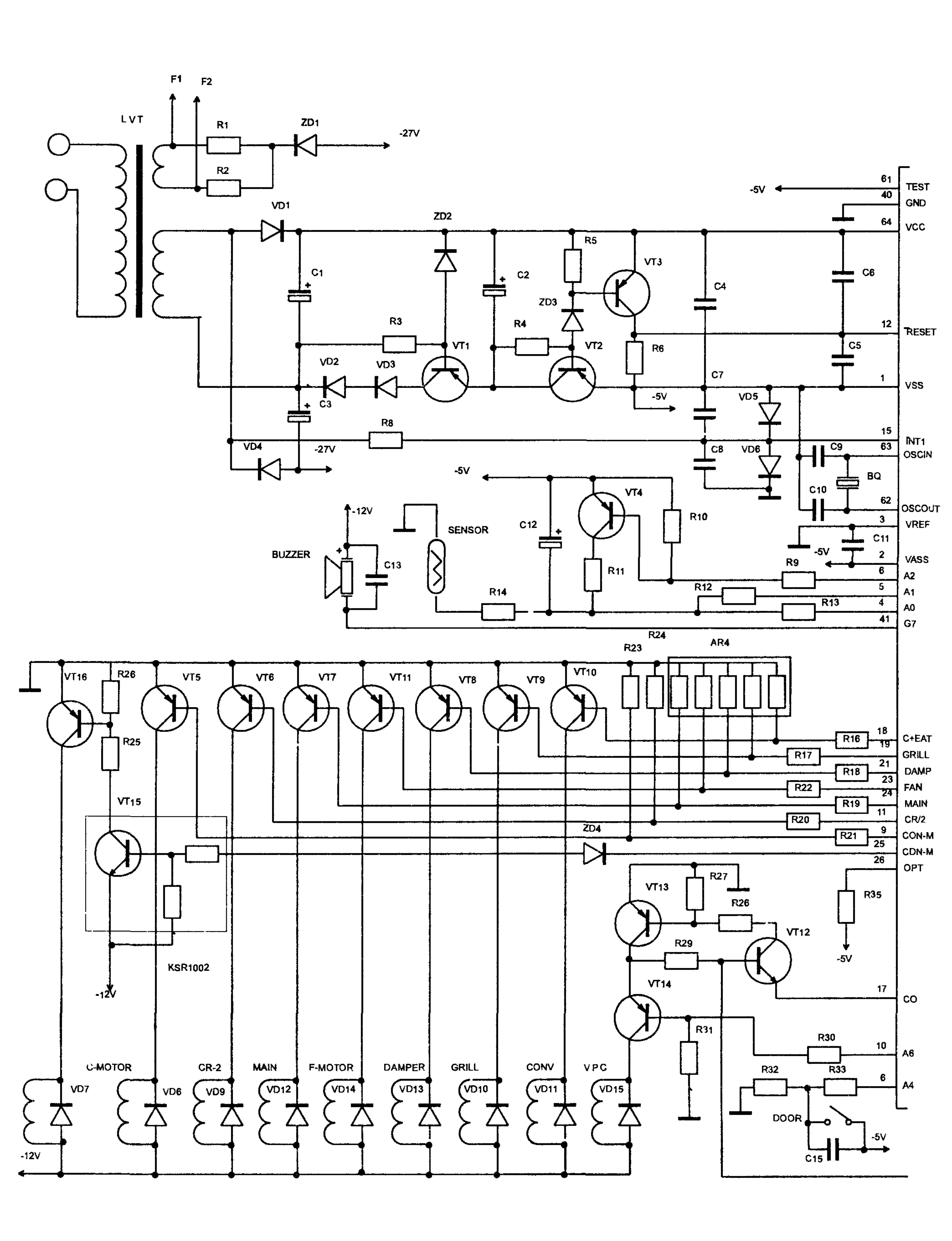
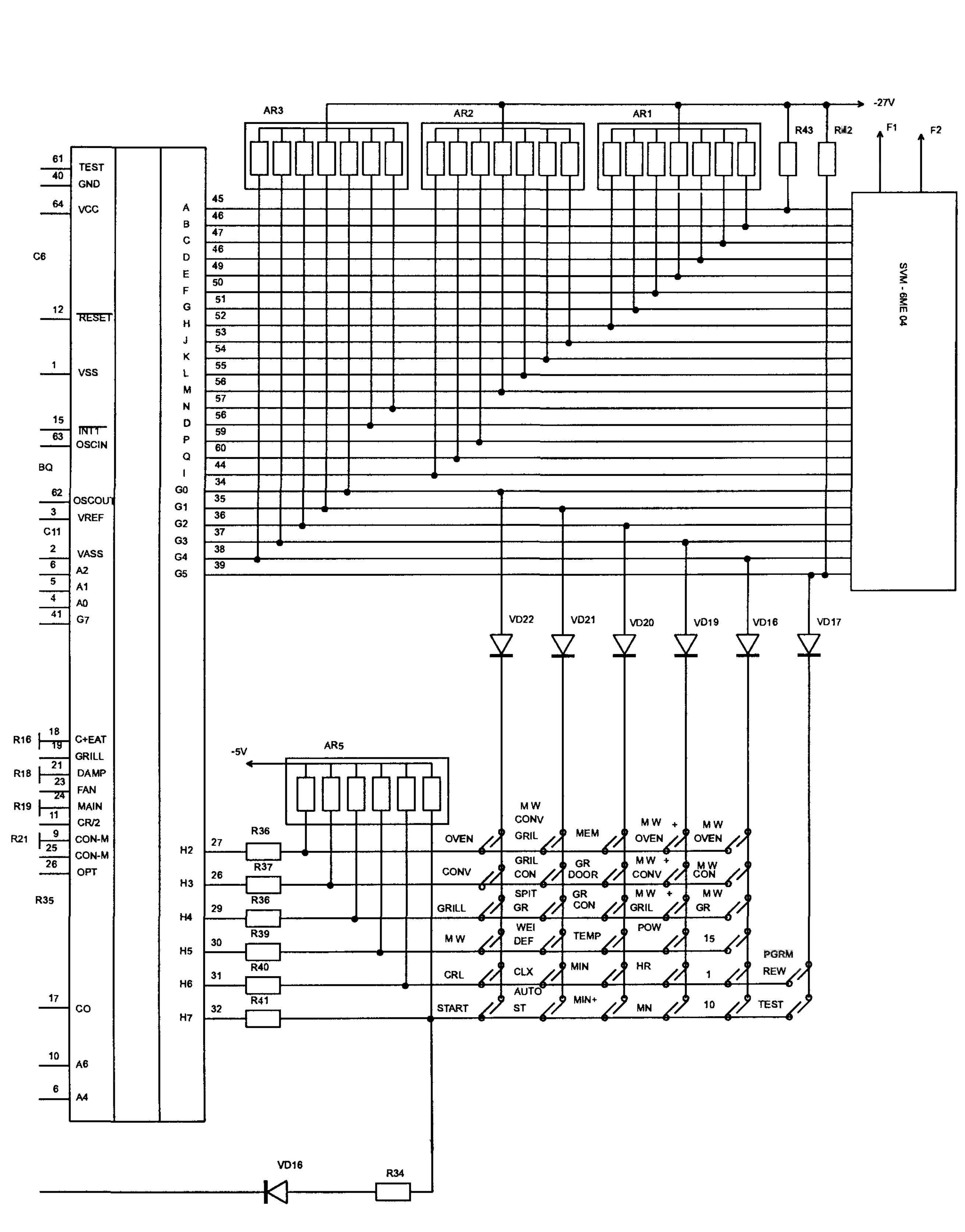



Рис. 3.47. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE1100 Samsung”



AR3
AR2
AR1
-27V
R43
R42
F1
F2
SVM - 6ME 04
TEST
GND
VCC
C6
RESET
VSS
INT1
OSCIN
BQ
OSCOUT
VREF
C11
VASS
A2
A1
A0
G7
VD22
VD21
VD20
VD19
VD16
VD17
AR5
-5V
C+EAT
GRILL
DAMP
FAN
MAIN
CR/2
CON-M
OPT
R16
R18
R19
R21
R35
CO
A6
A4
H2
H3
H4
H5
H6
H7
R36
R37
R39
R40
R41
OVEN
CONV
GRILL
M W
CRL
START
M W CONV GRIL
GRIL CON
SPIT GR
WEI DEF
CLX
AUTO ST
MEM
GR DOOR
GR CON
TEMP
MIN
MIN+
M W + OVEN
M W + CONV
M W + GRIL
POW
HR
MN
M W OVEN
M W CON
M W GR
15
1
10
PGRM REW
TEST
VD16
R34

Таблица 3.28. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE1100 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер | |
| 2 | Q1, Q2 | Транзистор KSA634Y | |
| 3 | Q3 | Транзистор KSA539Y | |
| 4 | Q4 | Транзистор 815Y | |
| 5 | Q5 — Q11 | Транзистор KSA539Y | |
| 6 | Q12 | Транзистор 815Y | |
| 7 | Q13, Q14 | Транзистор KSA539Y | |
| 8 | Q15 | Транзистор KSR1002 | |
| 9 | Q16 | Транзистор KSA539Y | |
| 10 | D1 — D4 | Диод 1N4001 | |
| 11 | D5, D6 | Диод US1040 | |
| 12 | D7 — D15 | Диод 1N4001 | |
| 13 | D16 — D22 | Диод US1040 | |
| 14 | ZD1 | Стабилитрон 7.5 V, 1 W | |
| 15 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 16 | ZD3 | Стабилитрон 5.1 V, 0.5 W | |
| 17 | ZD4 | Стабилитрон 7.5 V, 1 W | |
| 18 | R1 — R4 | Резистор 470 Ом | |
| 19 | R5 | Резистор 1 K | |
| 20 | R6, R7 | Резистор 5.1 K | |
| 21 | R8 | Резистор 10 K | |
| 22 | R9 | Резистор 3.9 K | |
| 23 | R10 | Резистор 10 K | |
| 24 | R11 | Резистор 5 K | |
| 25 | R12 | Резистор 100 K | |
| 26 | R13 | Резистор 3.9 K | |
| 27 | R14 | Резистор 1 K | |
| 28 | R16 — R22 | Резистор 3.9 K | |
| 29 | R23, R24 | Резистор 10 K | |

Таблица 3.28. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “RE1100 Samsung” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R25 | Резистор 3.9 K | |
| 31 | R26, R27 | Резистор 10 K | |
| 32 | R28 | Резистор 3.9 K | |
| 33 | R29 | Резистор 10 K | |
| 34 | R30 | Резистор 3.9 K | |
| 35 | R31 | Резистор 47 K | |
| 36 | R32 | Резистор 20 K | |
| 37 | R33 | Резистор 3.9 K | |
| 38 | R34 — R41 | Резистор 10 K | |
| 39 | R42, R43 | Резистор 100 K | |
| 40 | AR1 — AR3 | Набор резисторов 100 K | |
| 41 | AR4 | Набор резисторов 10 K | |
| 42 | C1 | Конденсатор электролитический 3300 мкФ | |
| 43 | C2, C3 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 44 | C4 — C8 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 45 | C9, C10 | Конденсатор 27 пФ | |
| 46 | C11 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 47 | C12 | Конденсатор электролитический 1 мкФ | |
| 48 | C13 — C15 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 49 | CR | Резонатор пьезоэлектрический 4.19 МГц | |
| 50 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 51 | HG | Индикатор люминисцентный SVM-6ME-04 | |
| 52 | L.V.T. | Трансформатор 230V/11V/2.5V | |

# Микроволновая печь “RE 1200 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.48, блока управления на рис. 3.49. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.29.

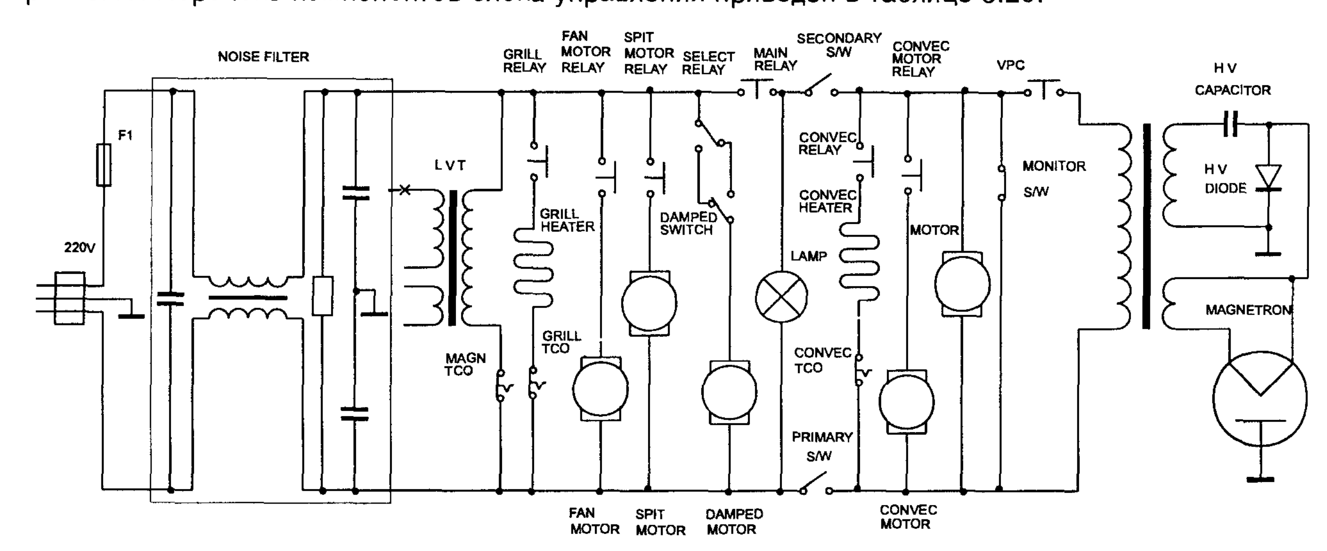



**Рис. 3.48. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE1200 Samsung”**

**Таблица 3.29. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “RE1200 Samsung”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC01 | Микроконтроллер 73C81 C66507 | |
| 2 | VFD | Индикатор люминесцентный 6MEO4 | |
| 3 | L.V.T. | Трансформатор 230V/10V/11.5V/2.5V | |
| 4 | PT1, PT2 | Транзистор p-n-p KSA634Y | |
| 5 | VT1 | Транзистор p-n-p KSA539Y | |
| 6 | VT2 | Транзистор n-p-n C815Y | |
| 7 | VT3 — VT8 | Транзистор p-n-p KSA539Y | |
| 8 | VT9 | Транзистор n-p-n C815Y | |
| 9 | VT10,VT11 | Транзистор p-n-p KSA539Y | |
| 10 | VT12 | Транзистор n-p-n C815Y | |
| 11 | VT13 | Транзистор p-n-p KSA539Y | |
| 12 | RD1 — RD13 | Диод 1N4001 | |
| 13 | VD1 — VD13 | Диод US1040 | |
| 14 | ZD1 | Стабилитрон 13 V | |
| 15 | ZD2, ZD3 | Стабилитрон 5.1 V | |
| 16 | ZD4 | Стабилитрон 3.9 V | |
| 17 | C1 | Конденсатор электролитический 2200 мкФ | |

Таблица 3.29. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE1200 Samsung" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 18 | C2 — C4 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 19 | C5 — C7 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 20 | C8,C9 | Конденсатор 27 пФ | |
| 21 | C10 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 22 | C11 | Конденсатор электролитический 1 мкФ | |
| 23 | CS | Резонатор пьезоэлектрический 4.19 МГц | |
| 24 | R1 | Резистор 1 К | |
| 25 | R2,R3 | Резистор 470 Ом | |
| 26 | R4 — R6 | Резистор 10 К | |
| 27 | R7 | Резистор 1 К | |
| 28 | R8 | Резистор 10 К | |
| 29 | R9 — R16 | Резистор 3.9 К | |
| 30 | R17 | Резистор 10 К | |
| 31 | R18,R20 | Резистор 3.9 К | |
| 32 | R19,R21.R22 | Резистор 10 К | |
| 33 | R23, R24 | Резистор 100 К | |
| 34 | R25 | Резистор 10 К | |
| 35 | R26,R27 | Резистор 3.9 К | |
| 36 | R28 | Резистор 100 К | |
| 37 | R29 | Резистор 3.9 К | |
| 38 | R30 | Резистор 10 К | |
| 39 | R31 | Резистор 1 К | |
| 40 | R32 | Резистор 5 К | |
| 41 | R33 — R38 | Резистор 10 К | |
| 42 | AR1 — AR3 | Резисторная матрица 7х100 К | |
| 43 | AR4 | Резисторная матрица 6х100 К | |
| 44 | TS | Датчик термисторный РТМ-312-91 | |
| 45 | BUZZER | Зуммер QMB-12 | |

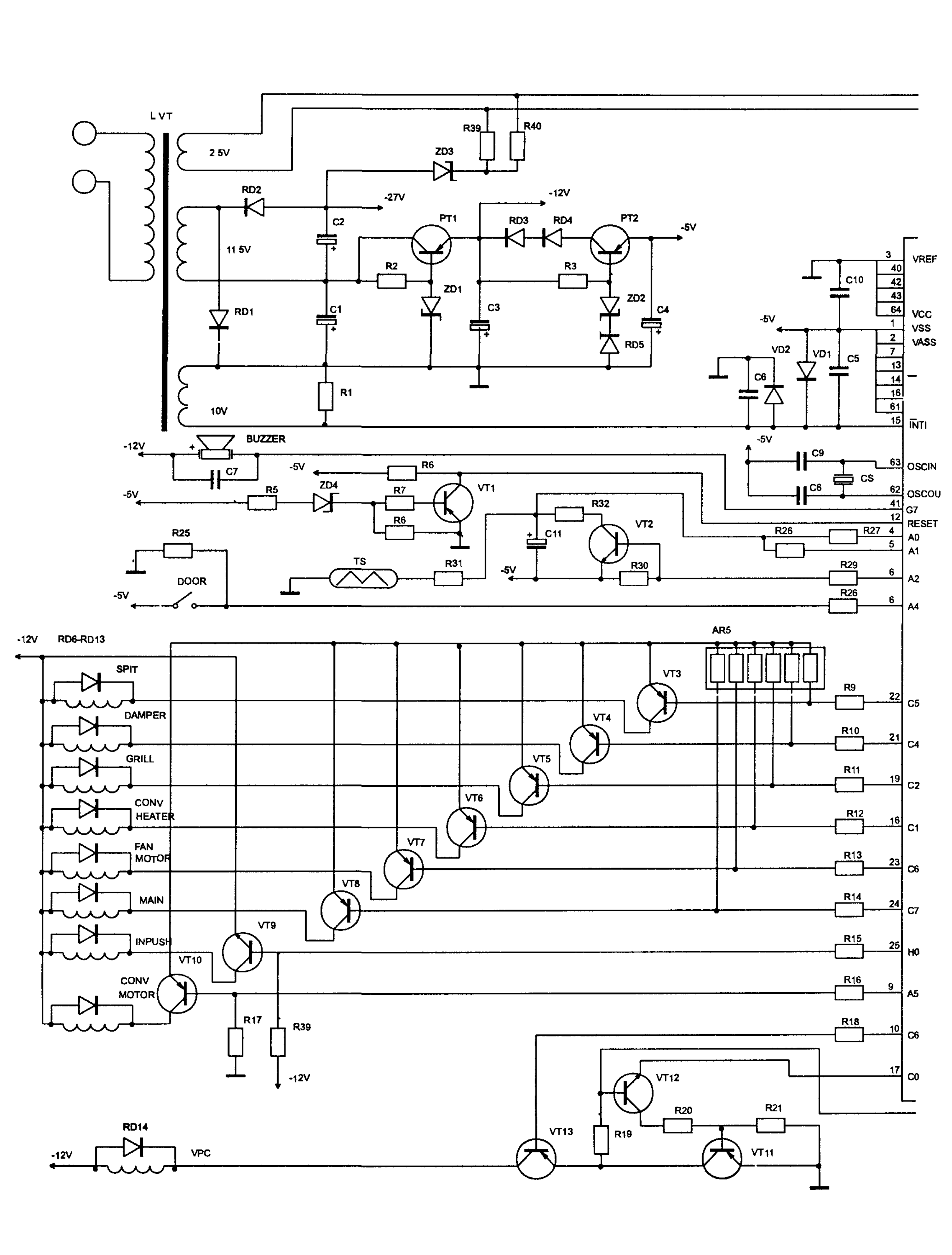
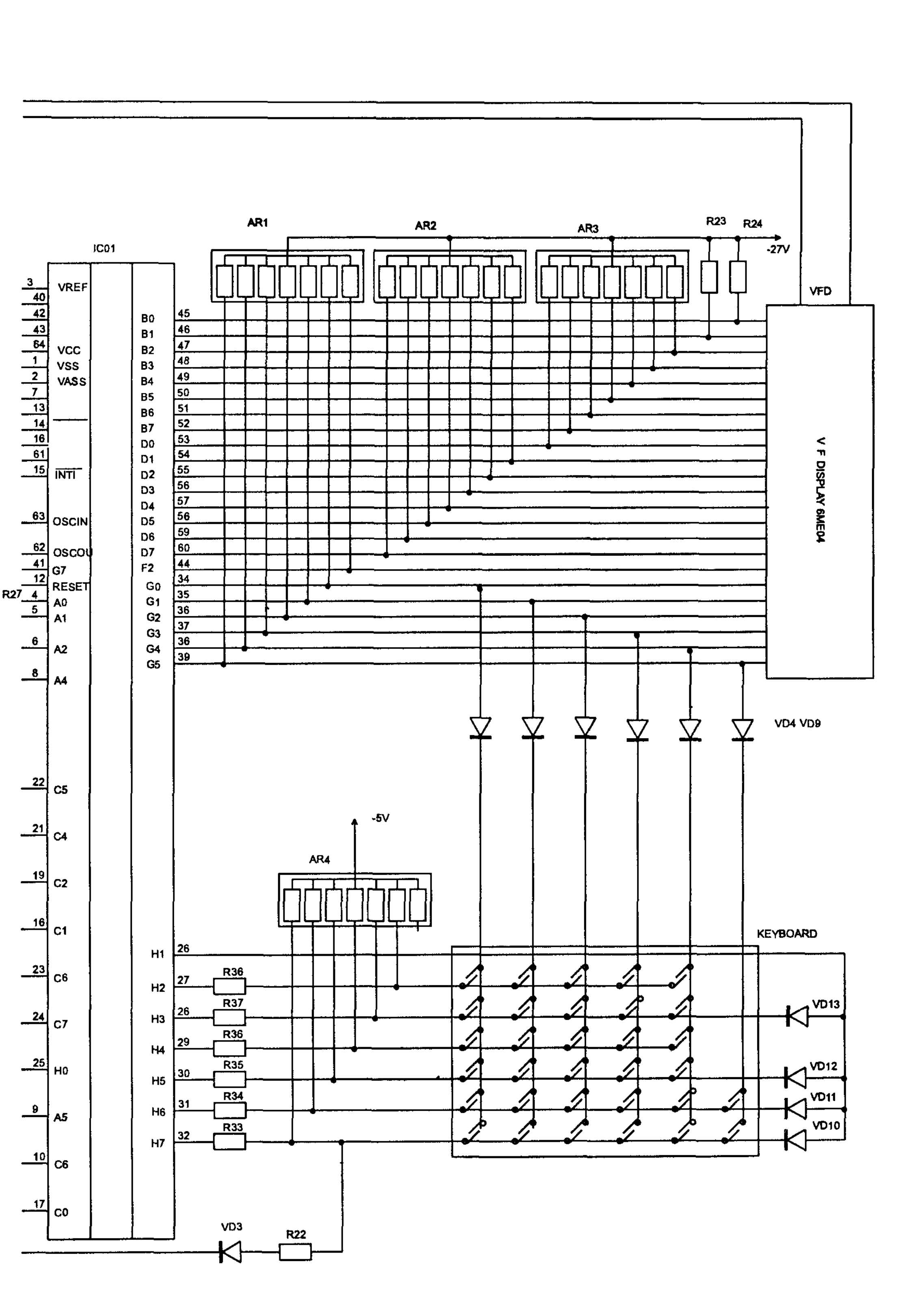



Рис. 3.49. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE1200 Samsung”



IC01
VREF
VCC
VSS
VASS
INTI
OSCIN
OSCOU
G7
RESET
A0
A1
A2
A4
C5
C4
C2
C1
C6
C7
H0
A5
C6
C0
R27
B0
B1
B2
B3
B4
B5
B6
B7
D0
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
F2
G0
G1
G2
G3
G4
G5
H1
H2
H3
H4
H5
H6
H7
AR1
AR2
AR3
R23
R24
-27V
VFD
V F DISPLAY 6ME04
VD4 VD9
-5V
AR4
KEYBOARD
R36
R37
R36
R35
R34
R33
VD13
VD12
VD11
VD10
VD3
R22

# Микроволновая печь “RE1280 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.50, блока управления на рис. 3.51. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.30.

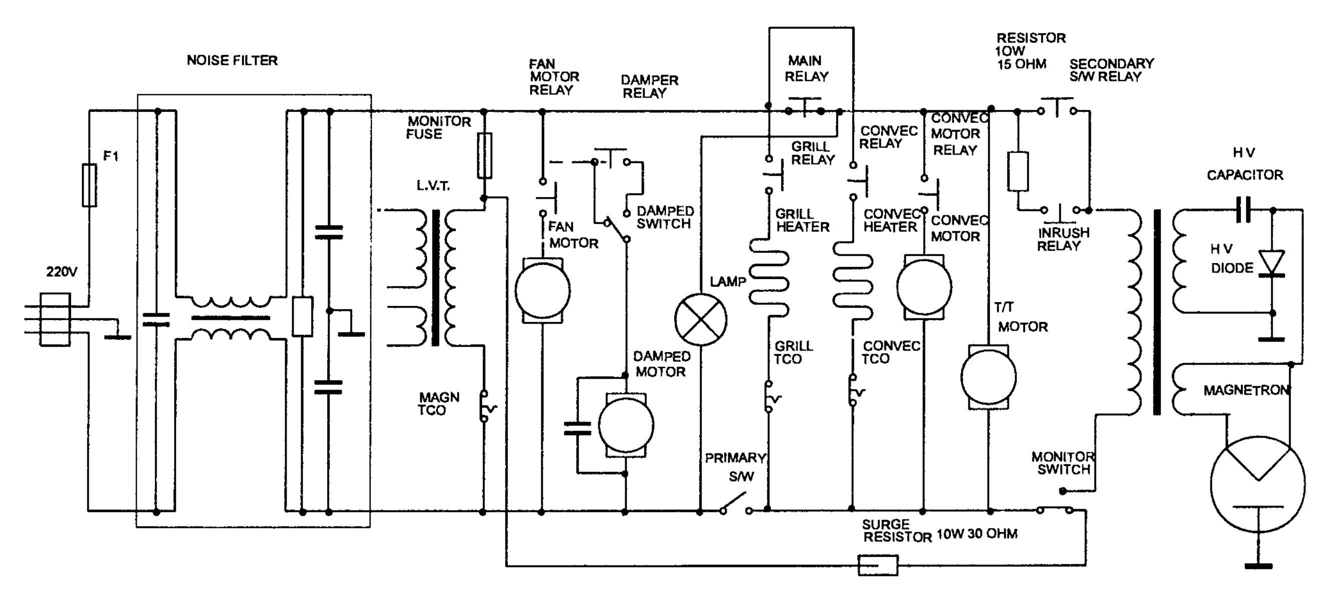



**Рис. 3.50. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE1280 Samsung”**

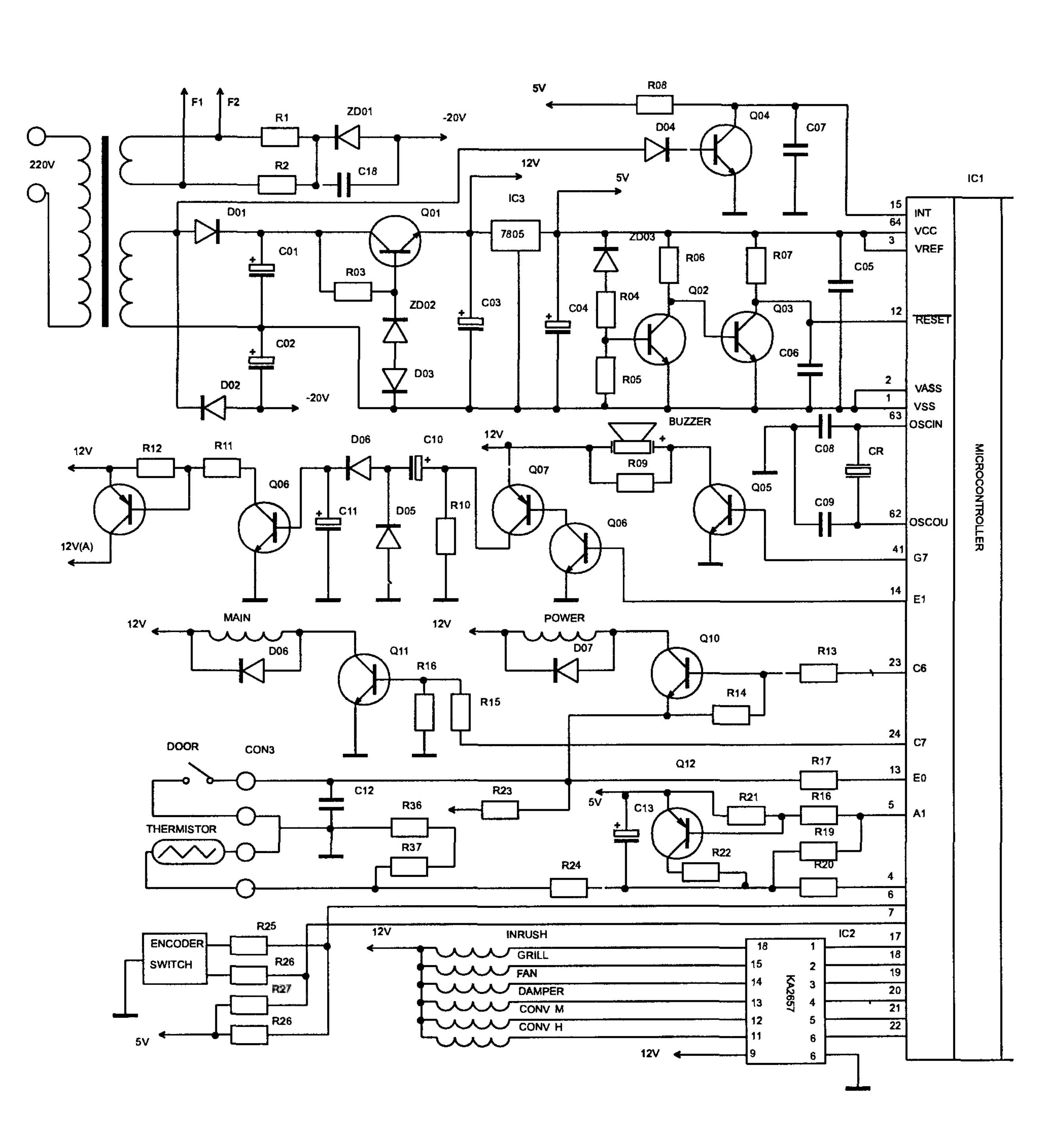



Рис. 3.51. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE1280 Samsung”

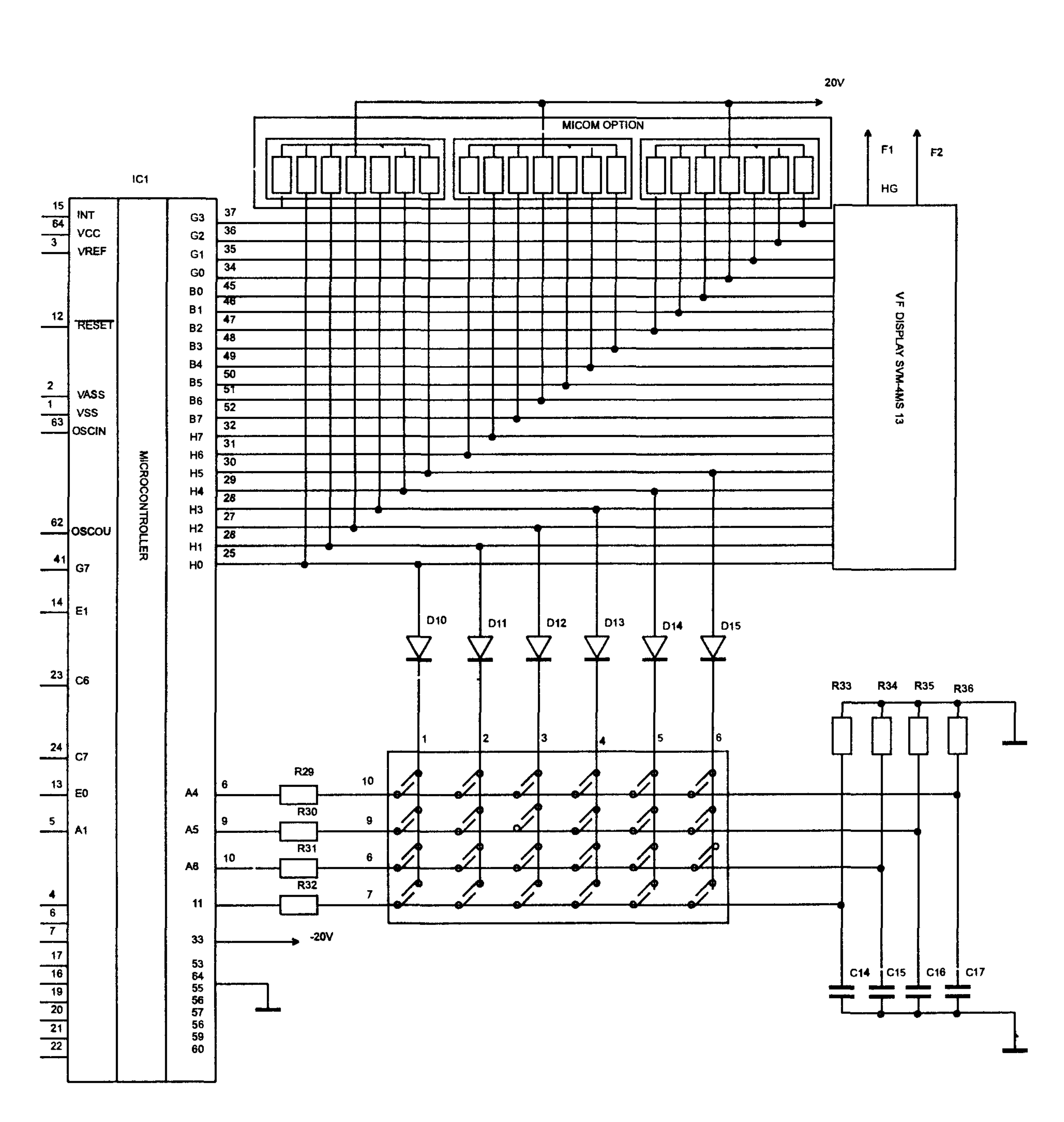



Рис. 3.51. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "RE1280 Samsung" (продолжение)

Таблица 3.30. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE1280 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер 73C81 C66507 | |
| 2 | IC2 | Микросхема K2657 | |
| 3 | IC3 | Микросхема 7805 | |
| 4 | Q01 | Транзистор n-p-n D882Y | |
| 5 | Q02, Q03 | Транзистор n-p-n C815Y | |
| 6 | Q04 — Q06 | Транзистор n-p-n R1005 | |
| 7 | Q07 | Транзистор p-n-p R2005 | |
| 8 | Q08 | Транзистор n-p-n R1005 | |
| 9 | Q09 | Транзистор p-n-p A539Y | |
| 10 | Q10 — Q11 | Транзистор n-p-n C815Y | |
| 11 | Q12 | Транзистор p-n-p A539Y | |
| 12 | D1, D2 | Диод 1N4001 | |
| 13 | D3 | Диод 1N4148 | |
| 14 | D4 — D7 | Диод 1N4001 | |
| 15 | D10 — D15 | Диод 1N4148 | |
| 16 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 17 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 18 | ZD3 | Стабилитрон 3.9 V, 0.5 W | |
| 19 | R01 — R03 | Резистор 470 Ом | |
| 20 | R04, R05 | Резистор 1 K | |
| 21 | R06 | Резистор 5.1 K | |
| 22 | R07, R08 | Резистор 10 K | |
| 23 | R09 | Резистор 1 K | |
| 24 | R10 | Резистор 2 K | |
| 25 | R11 | Резистор 3.9 K | |
| 26 | R12 | Резистор 10 K | |
| 27 | R13 | Резистор 3.9 K | |
| 28 | R14 | Резистор 10 K | |
| 29 | R15 | Резистор 3.9 K | |

Таблица 3.30. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE1280 Samsung" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R16 | Резистор 10 К | |
| 31 | R17, R18 | Резистор 3.9 К | |
| 32 | R19 | Резистор 100 К | |
| 33 | R20 | Резистор 3.9 К | |
| 34 | R21 | Резистор 10 К | |
| 35 | R22 | Резистор 5 К | |
| 36 | R23 | Резистор 2 К | |
| 37 | R24 — R26 | Резистор 1 К | |
| 38 | R27, R28 | Резистор 10 К | |
| 39 | R29 -R32 | Резистор 3.9 К | |
| 40 | R33 - RR36 | Резистор 47 К | |
| 41 | MICOM OPT. | Набор резисторов 100 К | |
| 42 | C01, C02 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 43 | C03 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 44 | C04 | Конденсатор электролитический 100 мкФ | |
| 45 | C05 — C07 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 46 | C08, C09 | Конденсатор 27 nФ | |
| 47 | C10, C11 | Конденсатор электролитический 10 мкФ | |
| 48 | C12 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 49 | C13 | Конденсатор электролитический 1 мкФ | |
| 50 | C14 — C17 | Конденсатор 3300 пФ | |
| 51 | C18 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 52 | CR | Резонатор пьезоэлектрический | |
| 53 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 55 | HG | Индикатор люминисцентный SVM-4MS-13 | |

## Микроволновая печь “RE290D Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.52.

## Микроволновая печь “RE727TC Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.53, блока управления на рис. 3.54. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.31.

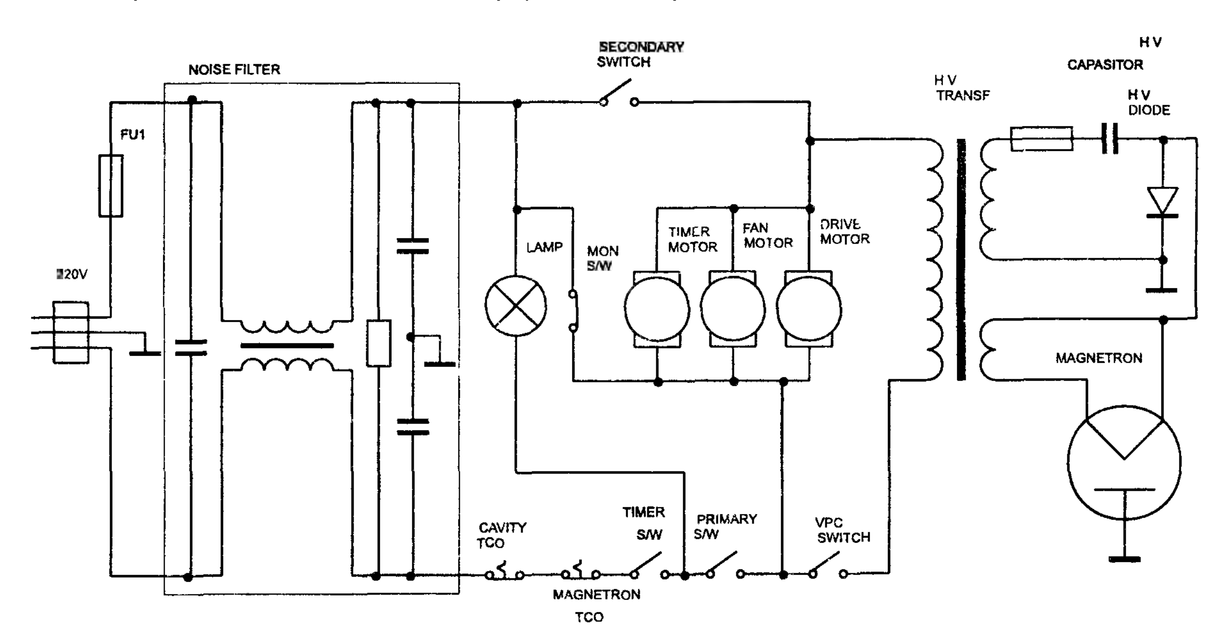



**Рис. 3.52.** **Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE290D Samsung”**

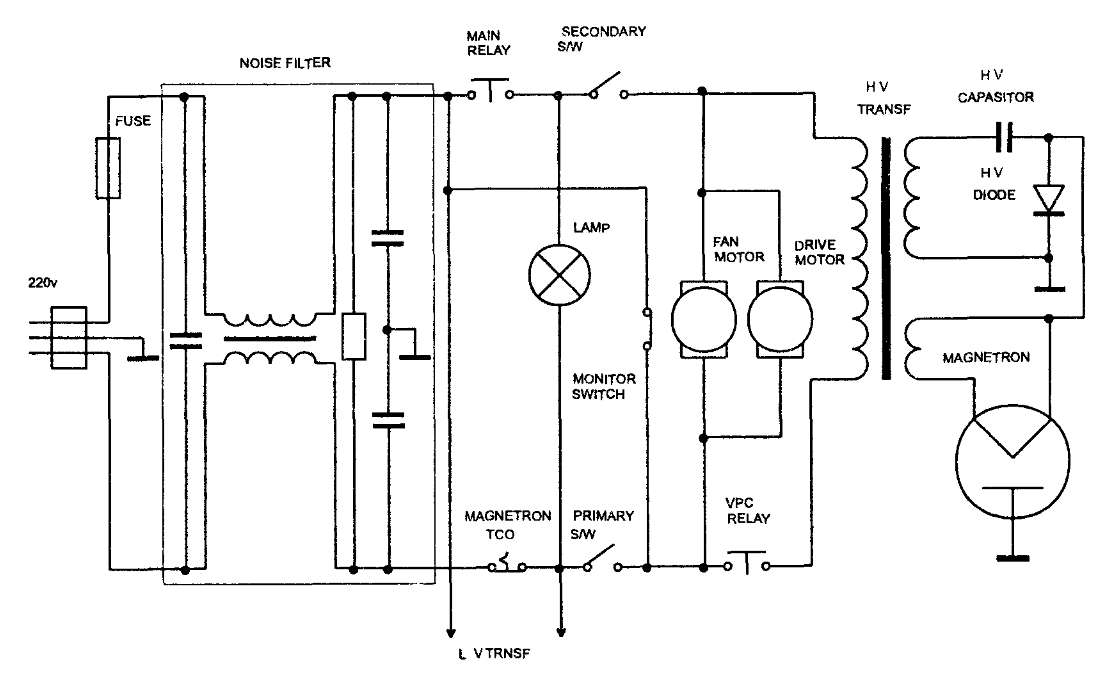



**Рис. 3.53.** **Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE727TC Samsung”**

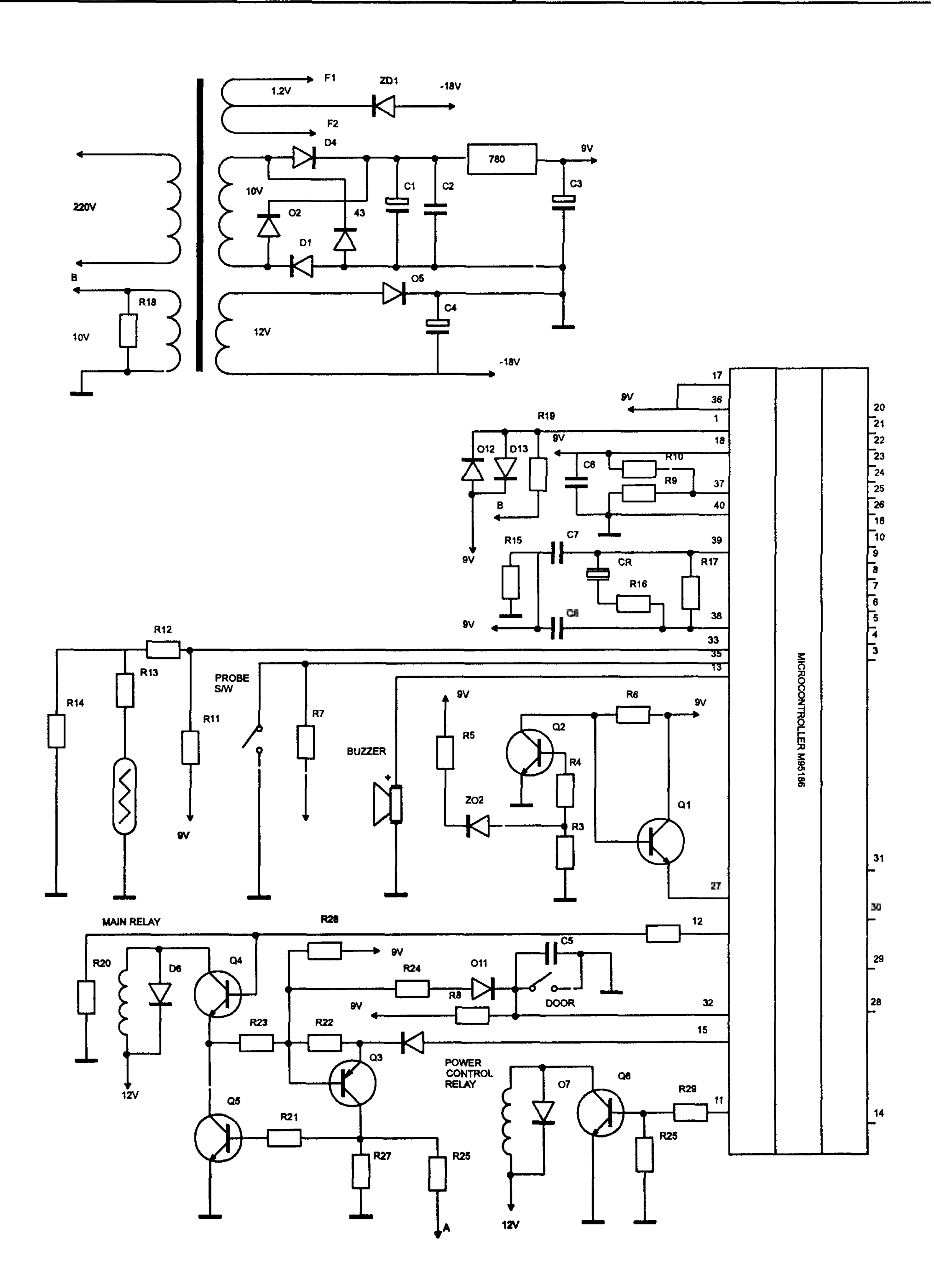



Рис. 3.54. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE727TC Samsung”

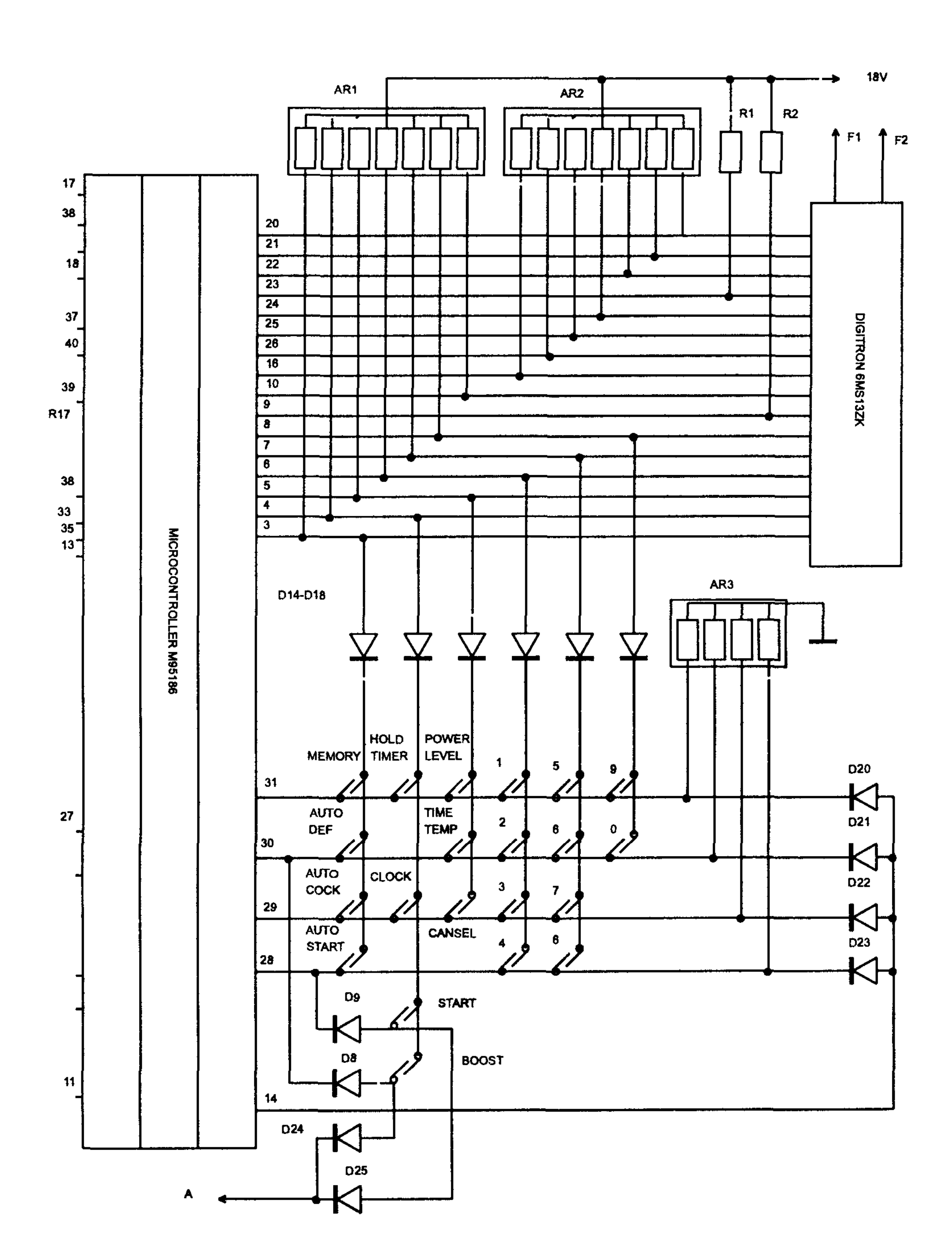

18V
AR1
AR2
R1
R2
F1
F2
MICROCONTROLLER M95186
DIGITRON 6MS13ZK
D14-D18
AR3
MEMORY
HOLD TIMER
POWER LEVEL
AUTO DEF
TIME TEMP
AUTO COCK
CLOCK
AUTO START
CANSEL
START
BOOST
D9
D8
D20
D21
D22
D23
D24
D25
A

Таблица 3.31. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE727TC Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер MS6186 | |
| 2 | IC2 | Микросхема 7809 | |
| 3 | Q1, Q2 | Транзистор 2SC815Y | |
| 4 | Q3 | Транзистор A953 | |
| 5 | Q4 — Q6 | Транзистор 2SC815Y | |
| 6 | D1 — D7 | Диод 1N4001 | |
| 7 | D8 — D23 | Диод US1040 | |
| 8 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 9 | ZD2 | Стабилитрон 7.5 V, 0.5 W | |
| 10 | R1, R2 | Резистор 47 K | |
| 11 | R3 | Резистор 20 K | |
| 12 | R4 | Резистор 1.2 K | |
| 13 | R5, R6 | Резистор 10 K | |
| 14 | R7, R8 | Резистор 4.7 K | |
| 15 | R10 | Резистор 500 Ом | |
| 16 | R11 | Резистор 9.2 K | |
| 17 | R12 | Резистор 10 K | |
| 18 | R13 | Резистор 500 Ом | |
| 19 | R14 | Резистор 26 K | |
| 20 | R15 | Резистор 3.3 K | |
| 21 | R16 | Резистор 330 Ом | |
| 22 | R17 | Резистор 56 K | |
| 23 | R18 | Резистор 100 K | |
| 24 | R19, R21 | Резистор 10 K | |
| 25 | R22 | Резистор 100 K | |
| 26 | R23 | Резистор 47 K | |
| 27 | R24, R25 | Резистор 10 K | |
| 28 | R26 | Резистор 47 K | |
| 29 | R27 | Резистор 10 K | |

Таблица 3.31. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE727TC Samsung" (продлджение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R28 | Резистор 47 K | |
| 31 | R29 | Резистор 10 K | |
| 32 | AR1, AR2 | Набор резисторов 47 K | |
| 33 | AR3 | Набор резисторов 100 K | |
| 34 | C1 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 35 | C2 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 36 | C3 | Конденсатор электролитический 3300 мкФ | |
| 37 | C4 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 38 | C5, C6 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 39 | C7 | Конденсатор 68 пФ | |
| 40 | C8 | Конденсатор 220 пФ | |
| 41 | CR | Резонатор пьезоэлектрический 5038 | |
| 42 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 43 | HG | Индикатор люминисцентный 6MS-13ZK | |
| 44 | L.V.T. | Трансформатор 230V/12V/10.1V/1.2V | |

## Микроволновая печь “RE727D Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.55.

## Микроволновая печь “RE890 Samsung”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис.3.56, блока управления на рис. 3.57. Перечень компонентов блока управления представлен в таблице 3.32.

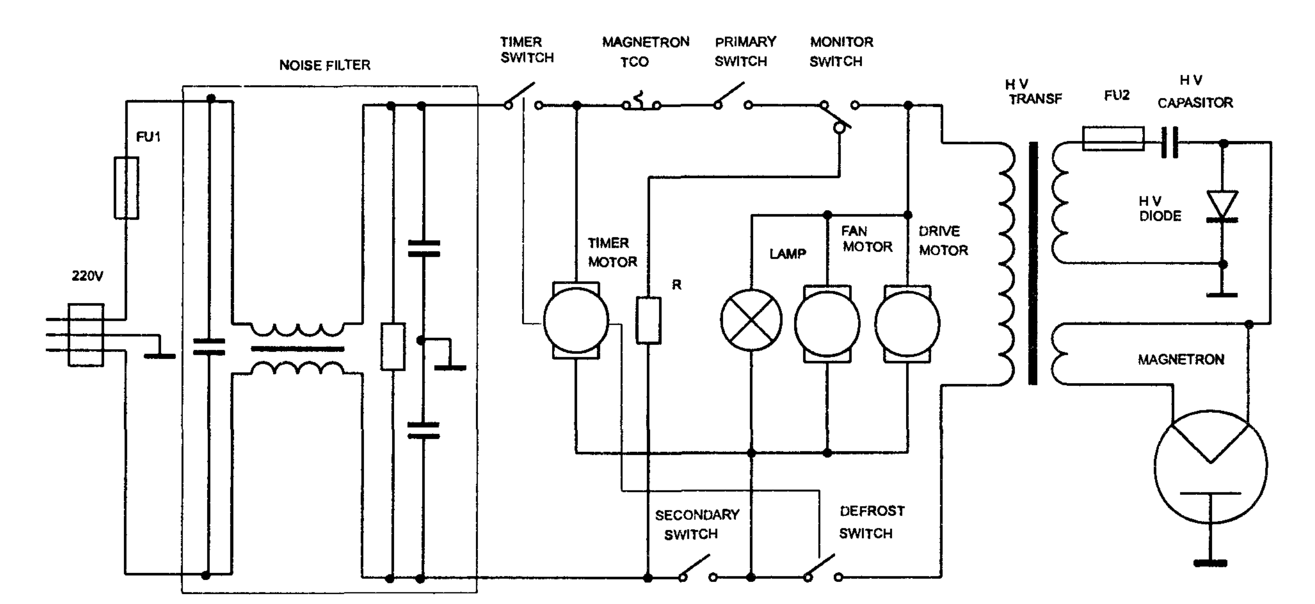



**Рис. 3.55. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE727D Samsung”**



**Рис. 3.56. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “RE890 Samsung”**

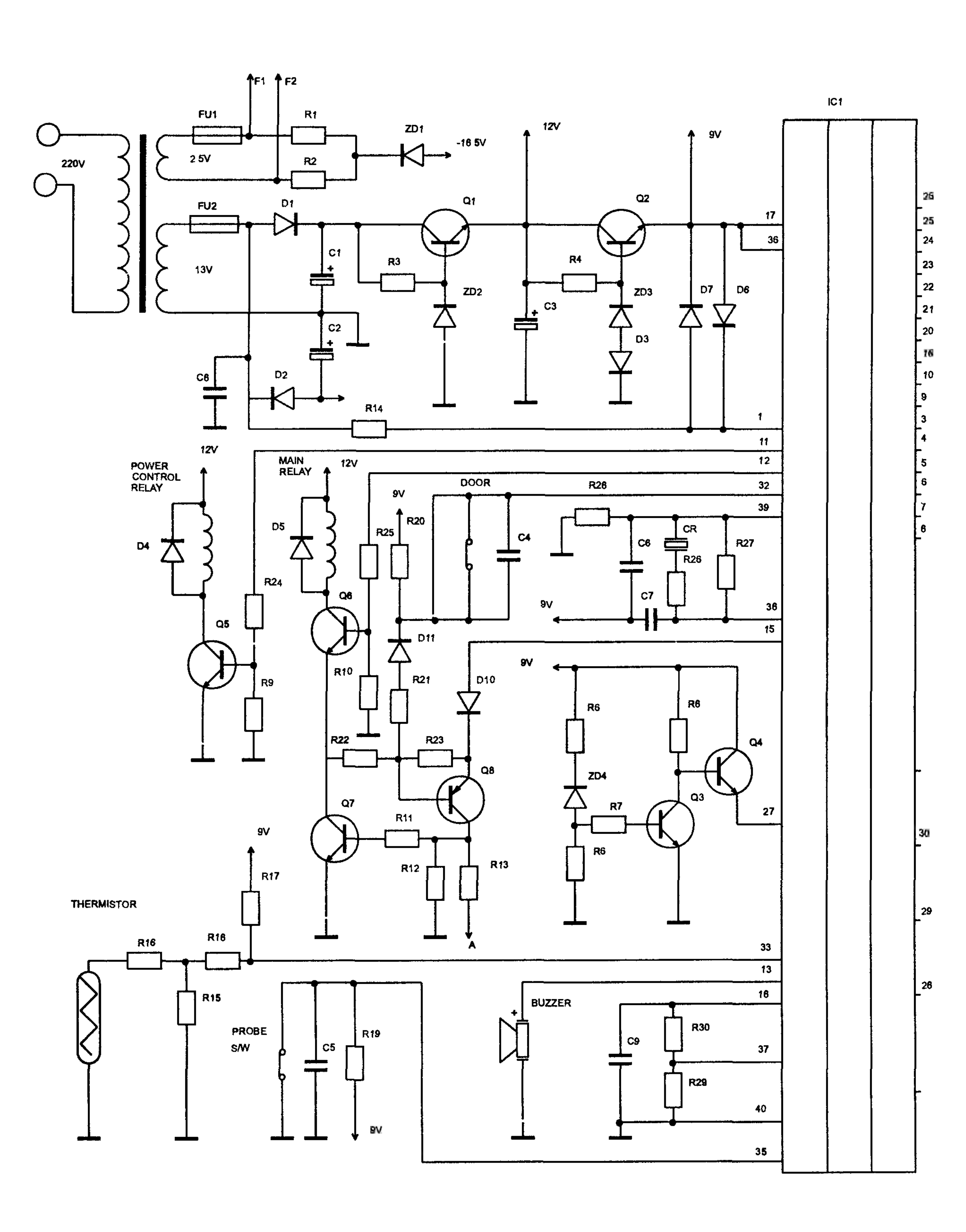



Рис. 3.57. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE890 Samsung”

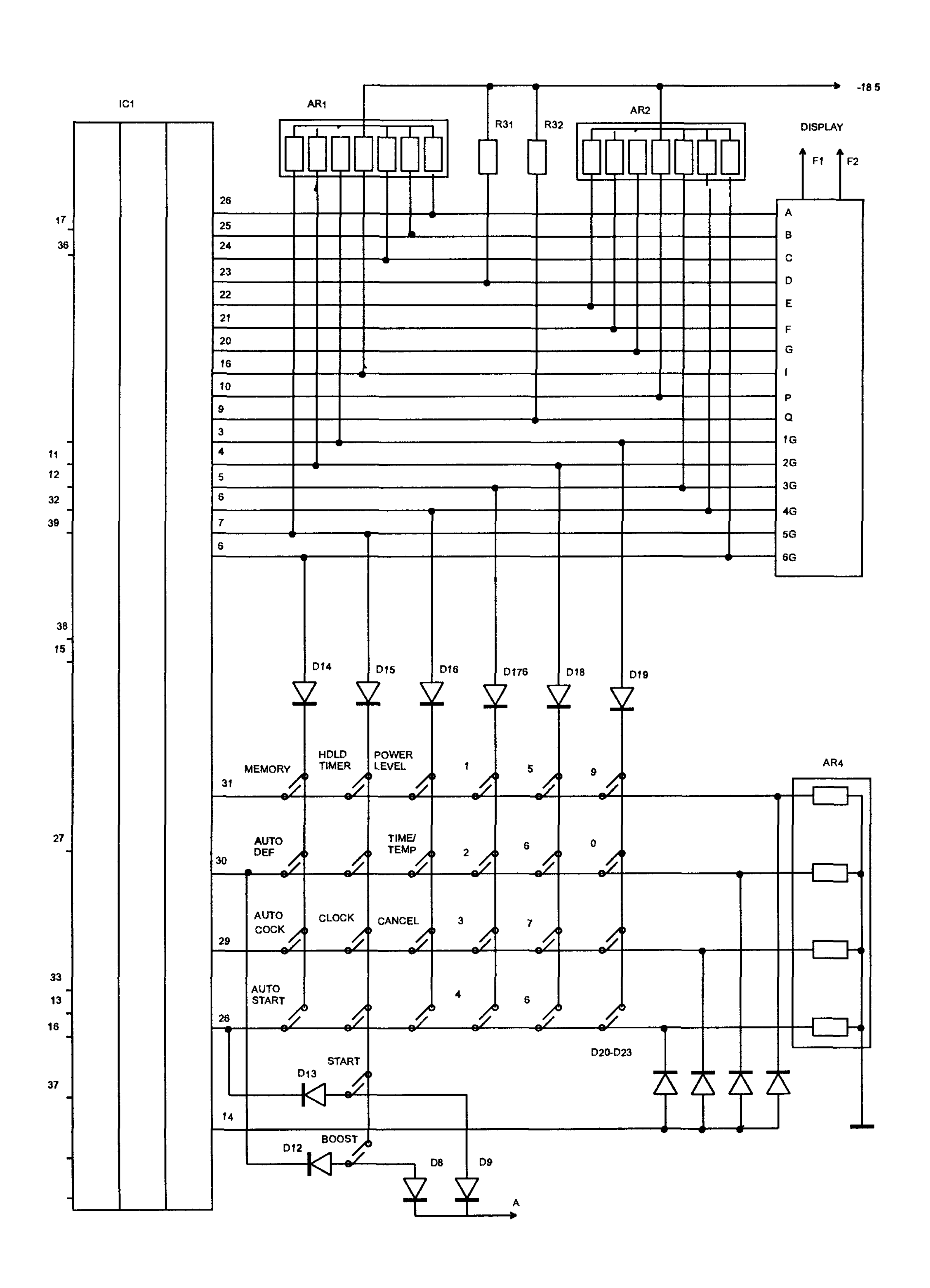



Рис. 3.57. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “RE890 Samsung” (продолжение)

Таблица 3.32. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "RE890 Samsung"

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | IC1 | Микроконтроллер | |
| 2 | Q1, Q2 | Транзистор D882Y | |
| 3 | Q3, Q7 | Транзистор 815Y | |
| 4 | Q8 | Транзистор A539Y | |
| 5 | D1, D2 | Диод 1N4001 | |
| 6 | D3 | Диод US1040 | |
| 7 | D4, D5 | Диод 1N4001 | |
| 8 | D6 — D19 | Диод US1040 | |
| 9 | ZD1 | Стабилитрон 5.1 V, 1 W | |
| 10 | ZD2 | Стабилитрон 13 V, 0.5 W | |
| 11 | ZD3 | Стабилитрон 9 V, 0.5 W | |
| 12 | ZD4 | Стабилитрон 7.5 V, 1 W | |
| 13 | R1 — R4 | Резистор 470 Ом | |
| 14 | R5 | Резистор 10 K | |
| 15 | R6 | Резистор 20 K | |
| 16 | R7 | Резистор 1.2 K | |
| 17 | R8 — R12 | Резистор 10 K | |
| 18 | R13 | Резистор 47 K | |
| 19 | R14 | Резистор 10 K | |
| 20 | R15 | Резистор 26 K | |
| 21 | R16 | Резистор 500 Ом | |
| 22 | R17 | Резистор 9.2 K | |
| 23 | R18 | Резистор 10 K | |
| 24 | R19, R20 | Резистор 4.7 K | |
| 25 | R21 | Резистор 10 K | |
| 26 | R22 | Резистор 47 K | |
| 27 | R23 | Резистор 100 K | |
| 28 | R24, R25 | Резистор 3.3 K | |
| 29 | R26 | Резистор 330 Ом | |

Таблица 3.32. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “RE890 Samsung” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | R27 | Резистор 56 К | |
| 31 | R30 | Резистор 500 Ом | |
| 32 | R31, R32 | Резистор 47 К | |
| 33 | AR1, AR2 | Набор резисторов 47 К | |
| 34 | AR4 | Набор резисторов 100 К | |
| 35 | C1 | Конденсатор электролитический 3300 мкФ | |
| 36 | C2 | Конденсатор электролитический 470 мкФ | |
| 37 | C3 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ | |
| 38 | C4, C5 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 39 | C6 | Конденсатор 68 пФ | |
| 40 | C7 | Конденсатор 220 пФ | |
| 41 | C8, C9 | Конденсатор 0.1 мкФ | |
| 42 | CR | Резонатор пьезоэлектрический | |
| 43 | BUZZER | Звонок пьезокерамический | |
| 44 | HG | Индикатор люминисцентный SVM-6ME-06 | |
| 45 | L.V.T. | Трансформатор 230V/13V/2.5V | |

# Микроволновые печи “NN-8800 Panasonic”, “NN-8850 Panasonic”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.58, блока управления на рис. 3.59. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.33.

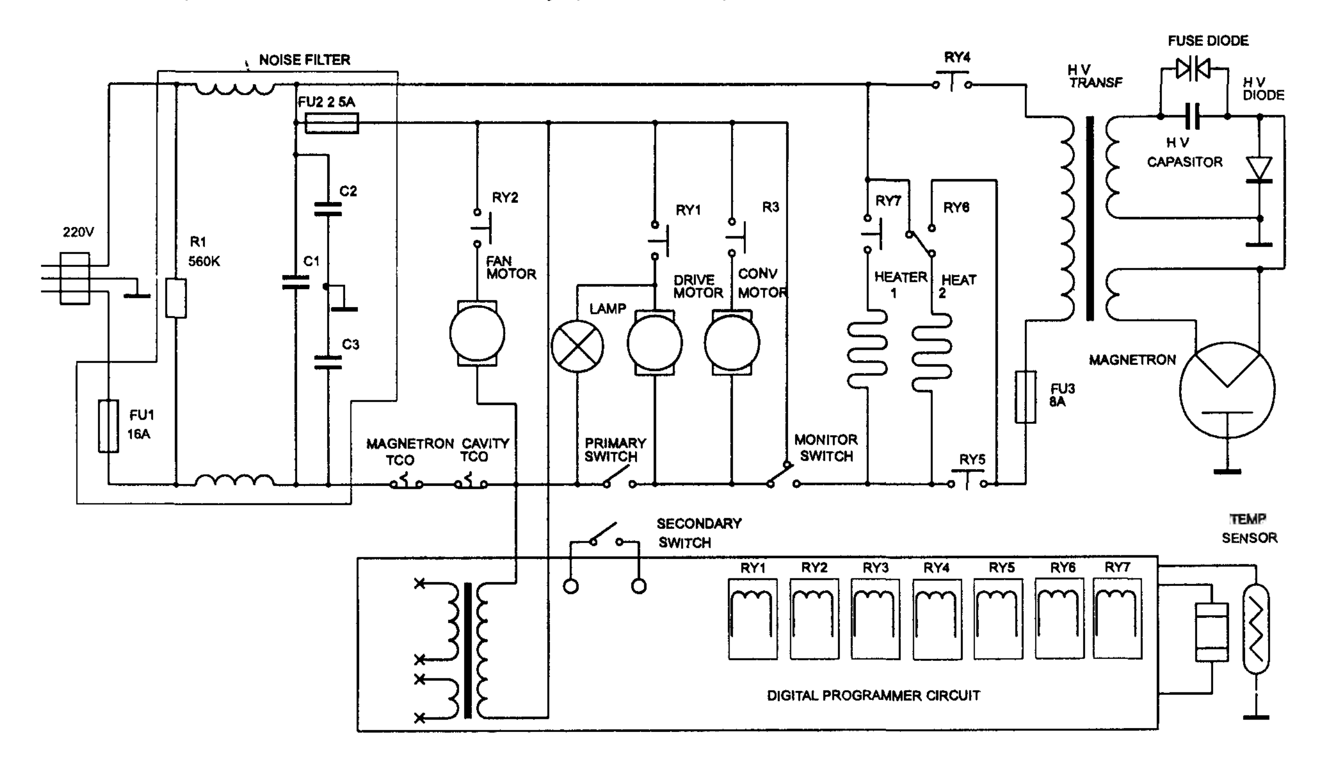



**Рис. 3.58. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “NN-8850 Panasonic”**

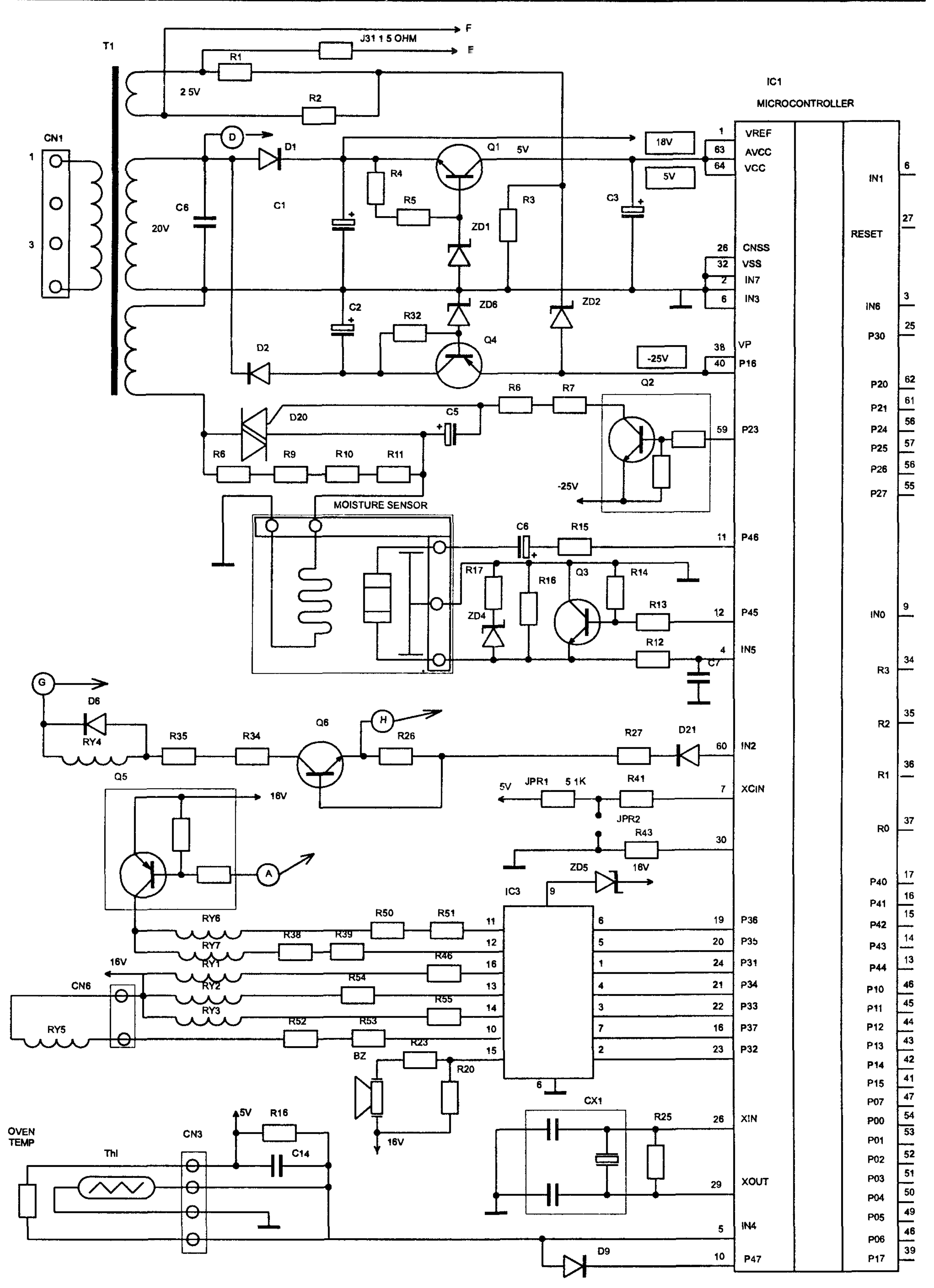



Рис. 3.59. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “NN-8850 Panasonic”

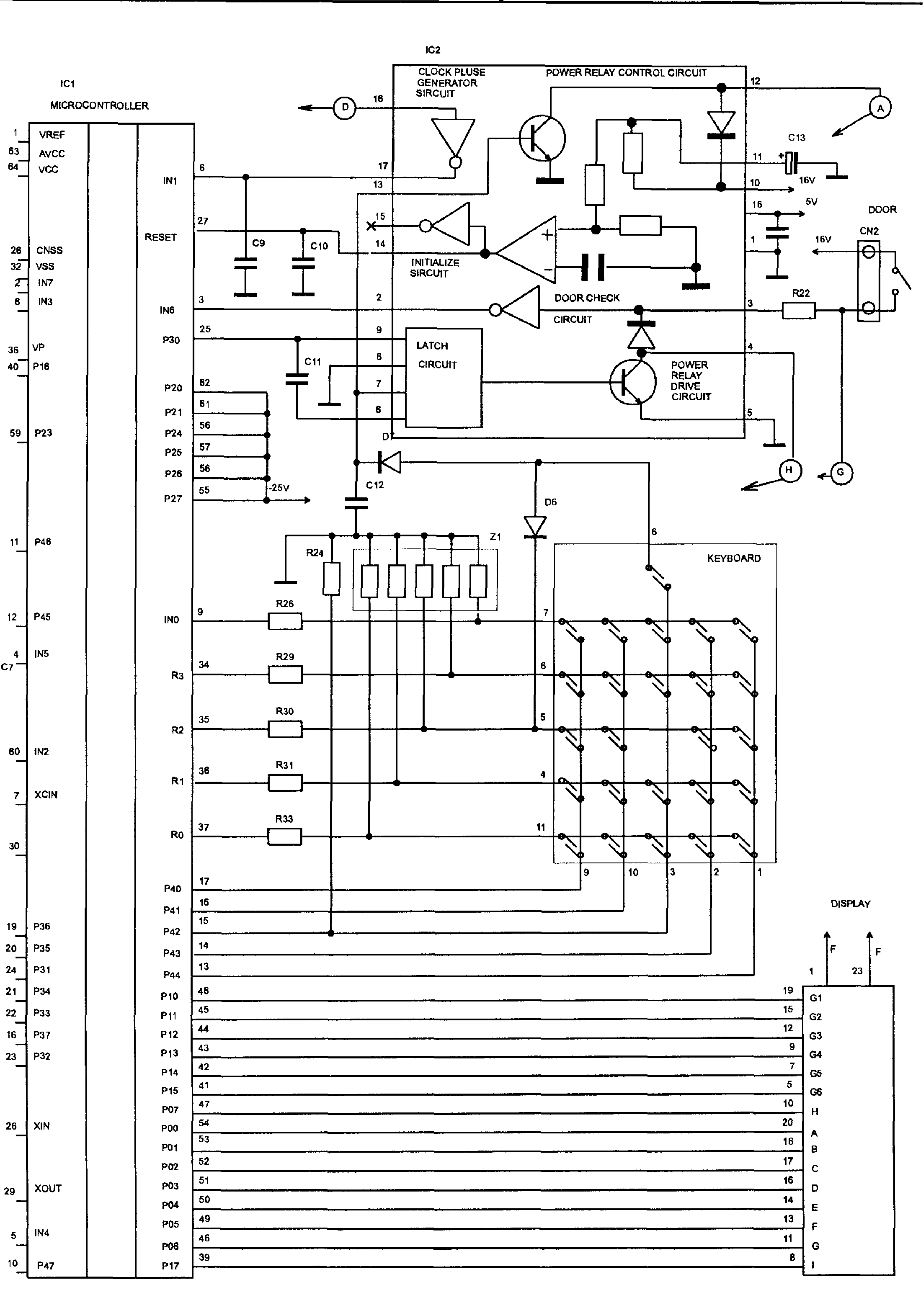

IC1
MICROCONTROLLER
IC2
CLOCK PLUSE GENERATOR SIRCUIT
POWER RELAY CONTROL CIRCUIT
INITIALIZE SIRCUIT
DOOR CHECK CIRCUIT
LATCH CIRCUIT
POWER RELAY DRIVE CIRCUIT
DOOR
CN2
KEYBOARD
DISPLAY
VREF
AVCC
VCC
CNSS
VSS
IN7
IN3
VP
P16
P23
P46
P45
IN5
IN2
XCIN
P36
P35
P31
P34
P33
P37
P32
XIN
XOUT
IN4
P47
IN1
RESET
IN6
P30
P20
P21
P24
P25
P26
P27
IN0
R3
R2
R1
R0
P40
P41
P42
P43
P44
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P07
P00
P01
P02
P03
P04
P05
P06
P17
C9
C10
C11
C12
C13
D6
D7
Z1
R22
R24
R26
R29
R30
R31
R33
-25V
16V
5V
G1
G2
G3
G4
G5
G6
H
A
B
C
D
E
F
G
I

**Таблица 3.33. Перечень элементов платы управления микроволноаой печи “NN-8850 Panasonic”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | DISPLAY | Люминесцентный индикатор | |
| 2 | CN1 | Разъем 7 контактный. | |
| 3 | CN2 | Разъем 11 контактный. | |
| 4 | CN3 | Разъем 4 контактный. | |
| 5 | BZ | Зуммер | 2 кГц |
| 6 | CX1 | Керамический резонатор | 4,19 МГц |
| 7 | RY1, 3, 4 | Реле | 12 вольт |
| 8 | RY2, 5 | Реле | 18 вольт |
| 9 | IC1 | Микроконтроллер | |
| 10 | IC2 | Интегральная схема AN6752 | |
| 11 | Q1 | Транзистор n-p-n 2SD2006-RTA | |
| 12 | Q3 | Цифровой p-n-p транзистор UN4123 | |
| 13 | Q4, 5, 6, 7 | Транзистор n-p-n 2SD1991A | |
| 14 | D1, D2, D3 | Диод Si AEDNERA 1502 | |
| 15 | D4, 5, 7 — 16 | Диод Si MA196 | |
| 16 | ZD1 | Стабилитрон 5.6 V | |
| 17 | ZD2 | Стабилитрон 27 V | |
| 18 | ZD3 | Стабилитрон 3.6 V | |
| 19 | C1 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ, 35 В | |
| 20 | C2 | Конденсатор электролитический 100 мкФ, 50 В | |
| 21 | C3, C4, C23 | Конденсатор керамический 0.1 мкФ | |
| 22 | C5 | Конденсатор электролитический 10 мкФ, 16 В | |
| 23 | C12—14, 16—19 | Конденсатор керамический 0.01 мкФ | |
| 24 | C15 | Конденсатор электролитический 2.2 мкФ, 50 В | |
| 25 | R1,2,29,35,36,43 | Пленочный резистор 200 Ом | |
| 26 | R3,4 | Пленочный резистор 3.9 K | |
| 27 | R5, 23, 25, 26, 30, 33, 37, 42, 45 | Пленочный резистор 10 K | |
| 28 | R6 | Пленочный резистор 3.9 K | |

Таблица 3.33. Перечень элементов платы управления микроволновой печи "NN-8850 Panasonic" (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 29 | R7, 31, 32, 40, 41 | Пленочный резистор 300 Ом | |
| 30 | R17, 19, 28 | Пленочный резистор 100 К | |
| 31 | R21, 34, 38, 46 | Пленочный резистор 4.3 К | |
| 32 | R22 | Пленочный резистор 2 К | |
| 33 | R24 | Пленочный резистор 200 К | |
| 34 | R27 | Пленочный резистор 33 К | |
| 35 | R39 | Пленочный резистор 15 К | |
| 36 | Z1 | Резисторная матрица 200 Кх4 | |

## Микроволновая печь "NN-8500 Panasonic"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.60, блока управления на рис. 3.61.

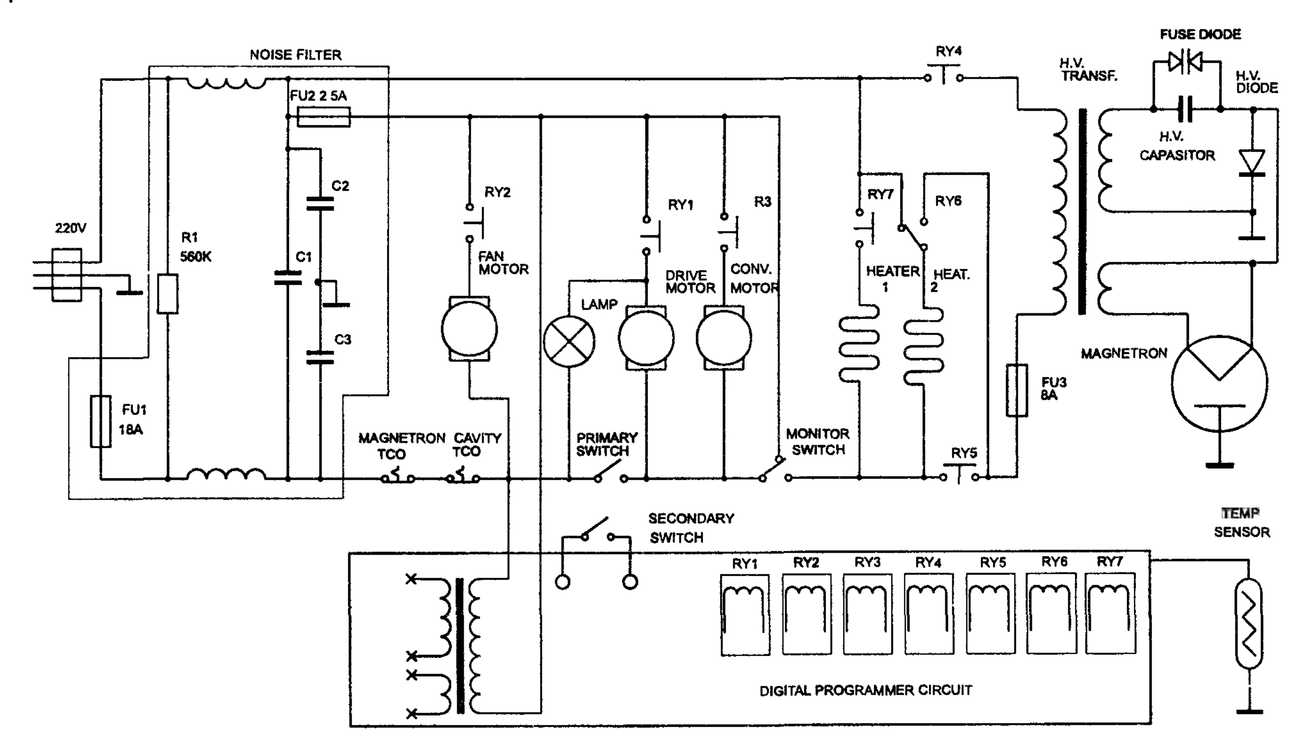



Рис. 3.60. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "NN-8500 Panasonic"

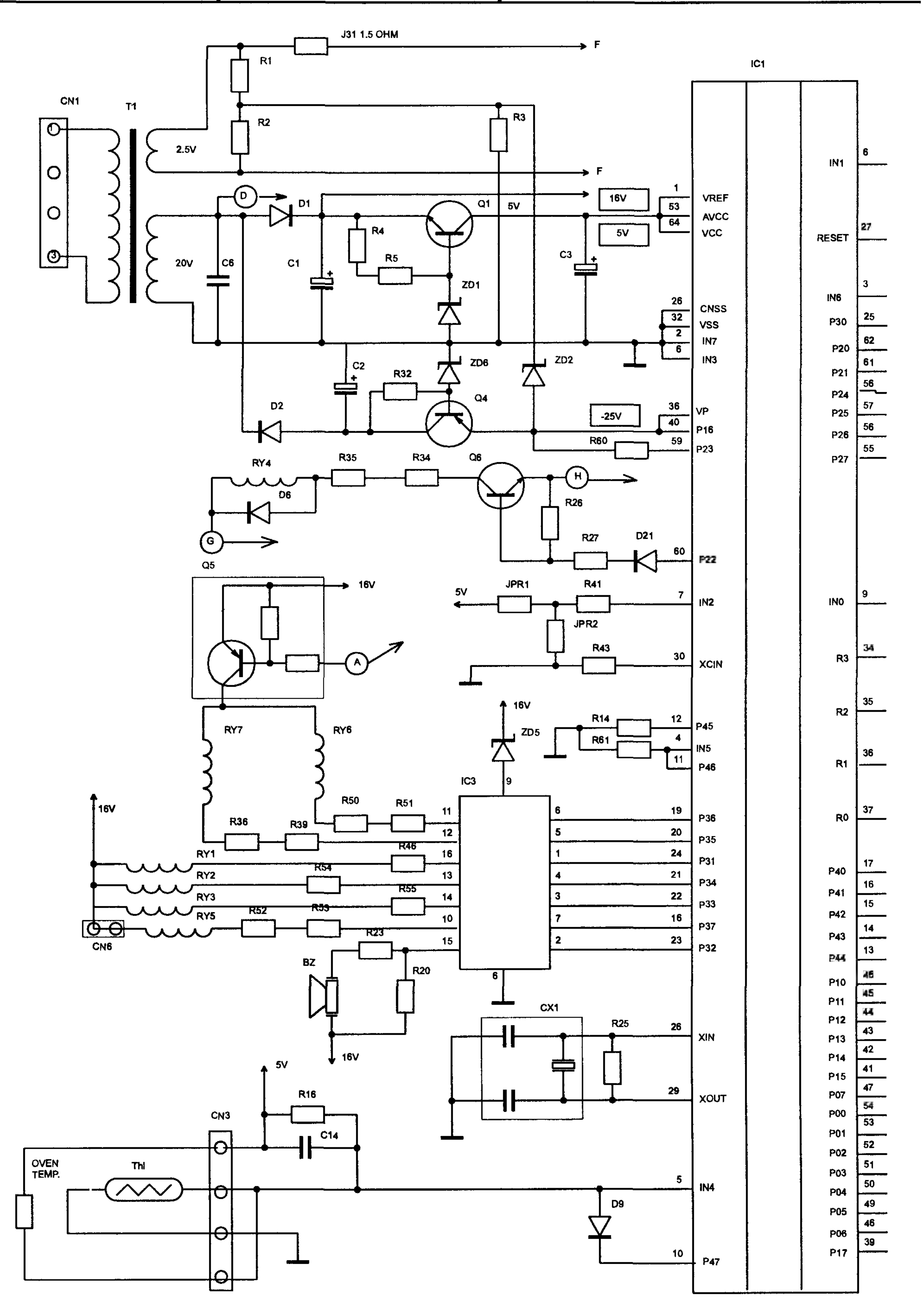
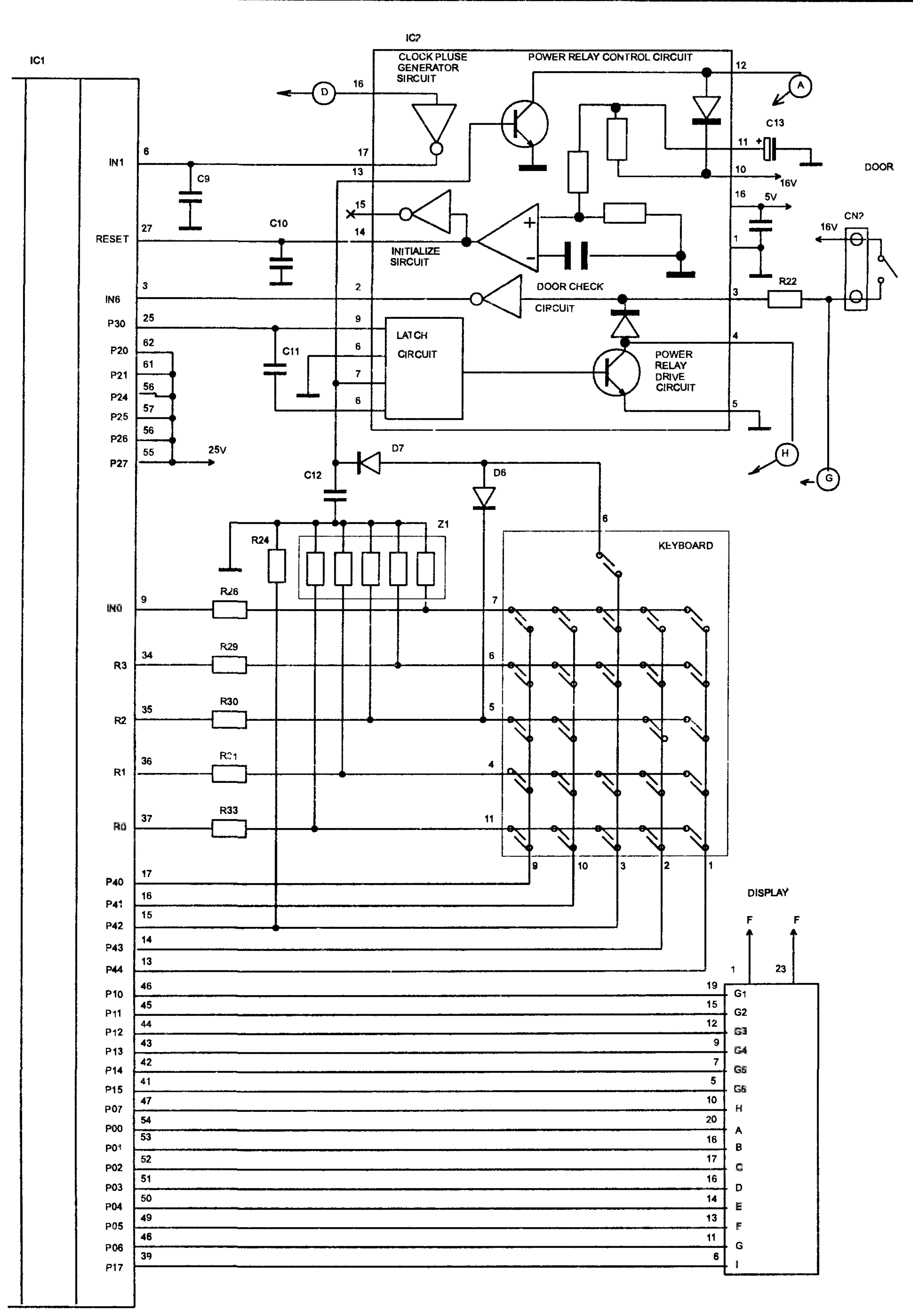



**Рис. 3.61.** Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "NN-8500 Panasonic"



IC1
IC?
CLOCK PLUSE GENERATOR SIRCUIT
POWER RELAY CONTROL CIRCUIT
INITIALIZE SIRCUIT
DOOR CHECK CIRCUIT
LATCH CIRCUIT
POWER RELAY DRIVE CIRCUIT
DOOR
CN?
KEYBOARD
DISPLAY
IN1
RESET
IN6
P30
P20
P21
P24
P25
P26
P27
IN0
R3
R2
R1
R0
P40
P41
P42
P43
P44
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P07
P00
P01
P02
P03
P04
P05
P06
P17
C9
C10
C11
C12
C13
D6
D7
R22
R24
R26
R29
R30
R33
Z1
25V
16V
5V
G1
G2
G3
G4
G5
G6

# Микроволновые печи "NN-K403 Panasonic", "NN-K453 Panasonic", "NN-K463 Panasonic", "NN-K493 Panasonic"

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.62, блока управления на рис. 3.63. Перечень компонентов блока управления приведен в таблице 3.34.

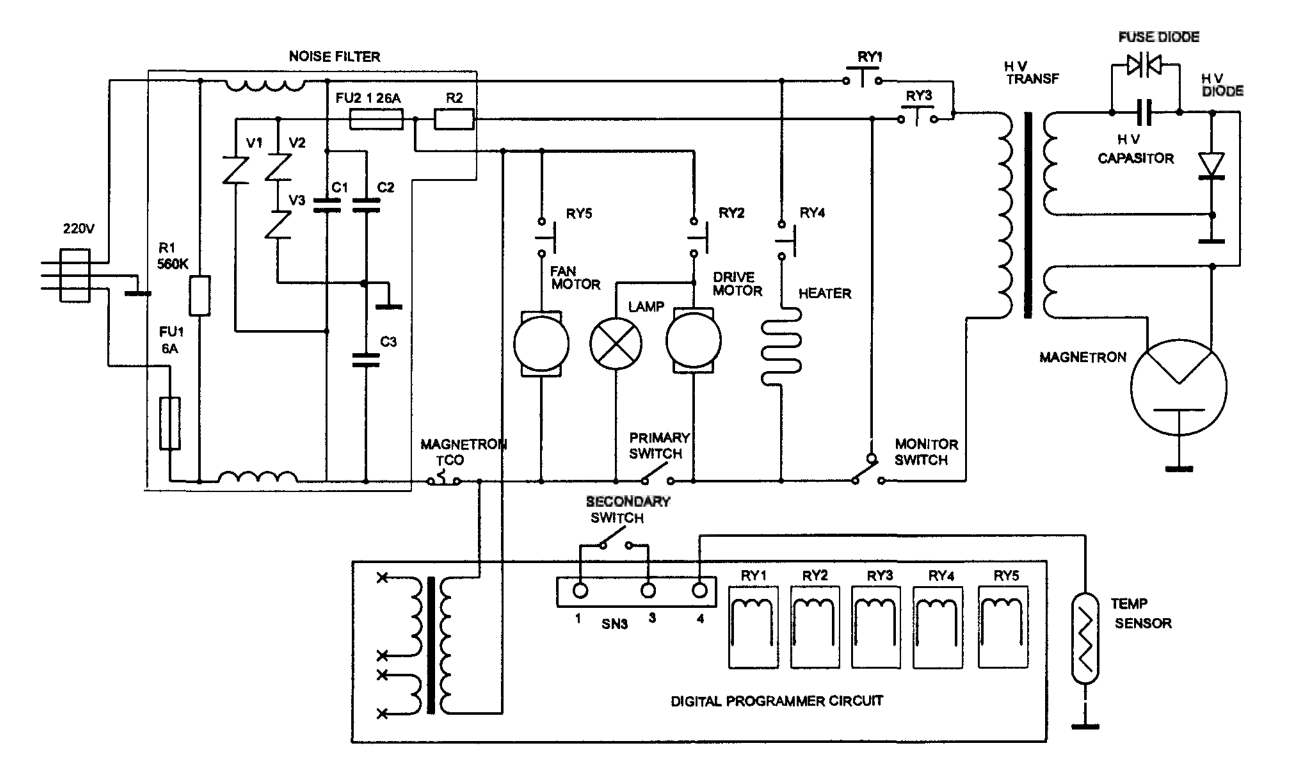
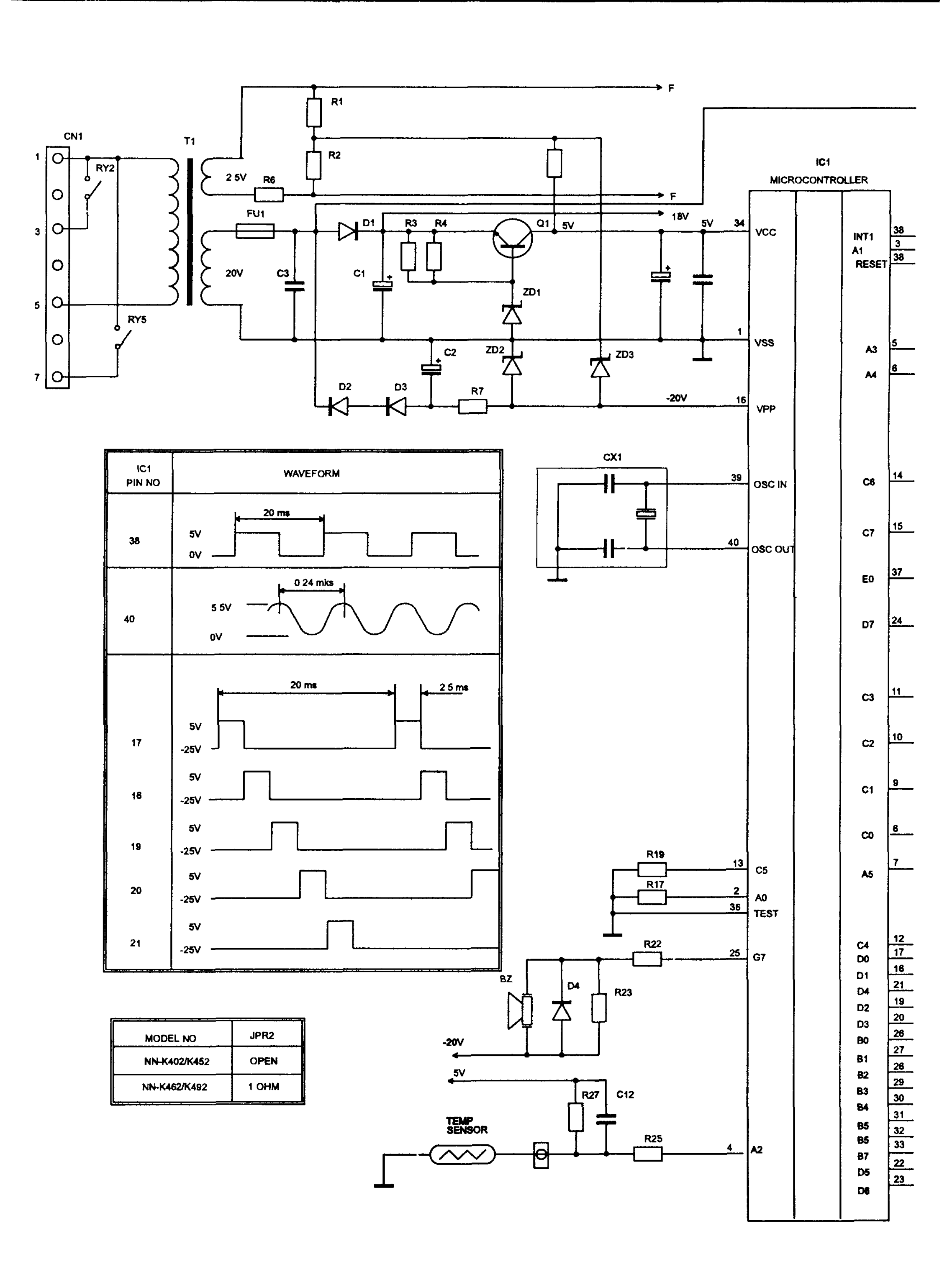



**Рис. 3.62.** **Принципиальная электрическая схема микроволновой печи "NN-K453 Panasonic"**




| MODEL NO | JPR2 |
|---|---|
| NN-K402/K452 | OPEN |
| NN-K462/K492 | 1 OHM |

Рис. 3.63. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “NN-K453 Panasonic”

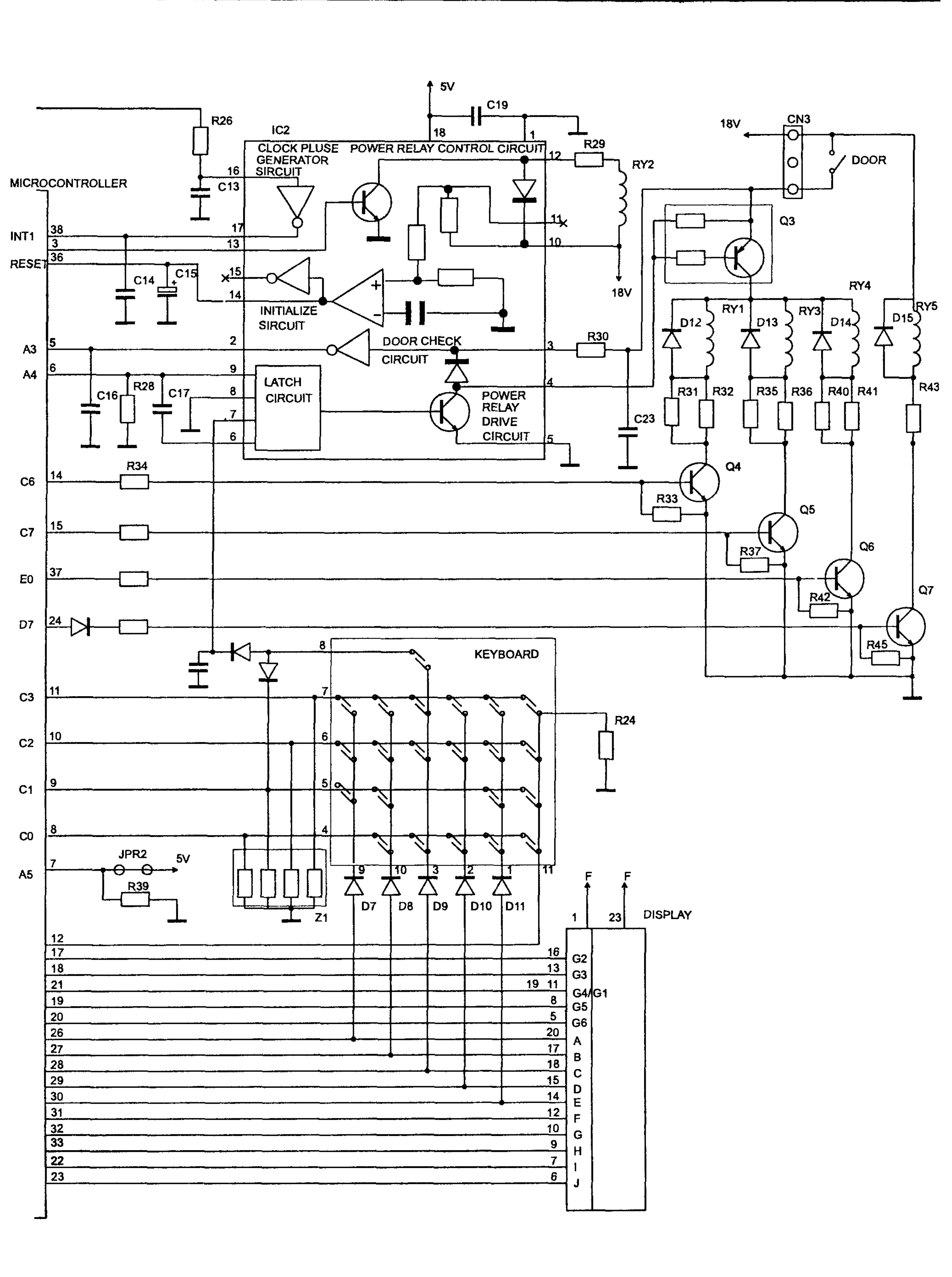



Рис. 3.63. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “NN-K453 Panasonic” (продолжение)

**Таблица 3.34. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “NN-K453 Panasonic”**

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | DISPLAY | Люминесцентный индикатор | |
| 2 | CN1 | Разъем 7 контактный. | |
| 3 | CN2 | Разъем 3 контактный. | |
| 4 | CN3 | Разъем 4 контактный. | |
| 5 | CN4 | Разъем 11 контактный. | |
| 6 | CN5 | Разъем 7 контактный. | |
| 7 | CN6 | Разъем 7 контактный. | |
| 8 | BZ | Зуммер | 2 кГц |
| 9 | CX1 | Керамический резонатор | 4,19 МГц |
| 10 | RY1, 2, 3, 6 | Реле | 12 вольт |
| 11 | RY4, 7 | Реле | 18 вольт |
| 12 | IC1 | Микроконтроллер | |
| 13 | IC2 | Интегральная схема AN6752 | |
| 14 | IC3 | Интегральная схема AEICBA12004 | |
| 15 | Q1 | Транзистор n-p-n 2SD2006-RTA | 250 mw |
| 16 | Q2 | Цифровой n-p-n транзистор UN4211 | |
| 17 | Q3 | Транзистор n-p-n 2SC1687 | |
| 18 | Q4 | Транзистор p-n-p 2SA720 | |
| 19 | Q5 | Цифровой p-n-p транзистор UN4123 | |
| 20 | Q6 | Транзистор n-p-n 2SC1318 | 400mw |
| 21 | D1, D2 | Диод Si | |
| 22 | D6, 7, 8, 9, 21 | Диод Si | |
| 23 | ZD1 | Стабилитрон 5.6 V | |
| 24 | ZD2 | Стабилитрон 4.7 V | |
| 25 | ZD4 | Стабилитрон 4.3 V | |
| 26 | ZD5 | Стабилитрон 15 V | |
| 27 | ZD6 | Стабилитрон 20 V | |
| 28 | C1 | Конденсатор электролитический 1000 мкФ, 35 В | |
| 29 | C2 | Конденсатор электролитический 220 мкФ, 35 В | |

Таблица 3.34. Перечень элементов платы управления микроволновой печи “NN-K453 Panasonic” (продолжение)

| № п/п | Позиционное обозначение | Наименование | Примечание |
|---|---|---|---|
| 30 | C3 | Конденсатор электролитический 22 мкФ, 16 В | |
| 31 | C5 | Конденсатор электролитический 10 мкФ, 16 В | |
| 32 | C6 | Конденсатор электролитический 0.47 мкФ, 50 В | |
| 33 | C7 | Конденсатор керамический 0.001 мкФ | |
| 34 | C8, C9, C10 | Конденсатор керамический 0.1 мкФ | |
| 35 | C11, C12, C14 | Конденсатор керамический 0.01 мкФ | |
| 36 | C13 | Конденсатор электролитический 0.47 мкФ, 50 В | |
| 37 | R1, 2, 12,1 5 | Пленочный резистор 200 Ом | |
| 38 | R3, 19, 20, 24, 41, 43 | Пленочный резистор 10 K | |
| 39 | R4,5,6,7,23,28, 29,30,31,32,33 | Пленочный резистор 750 Ом | |
| 40 | R8, 9, 10, 11 | Пленочный резистор 180 Ом | |
| 41 | R13, 14, 22, 27 | Пленочный резистор 5.1 K | |
| 42 | R16, 25 | Пленочный резистор 1 MОм | |
| 43 | R17 | Пленочный резистор 86 K | |
| 44 | R18 | Пленочный резистор 910 K | |
| 45 | R26 | Пленочный резистор 15 K | |
| 46 | R34, 35, 50—53 | Пленочный резистор 47 Ом | |
| 47 | R38, R39 | Пленочный резистор 51 Ом | |
| 48 | JPR1 | Пленочный резистор 5.1 K | |
| 49 | JPR2 | Пленочный резистор 3.6 K | |
| 50 | Z1 | Резисторная матрица 15 Kx5 | |

# Микроволновая печь “UMW-400 Unit”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис 3 64, блока управления на рис. 3.65.

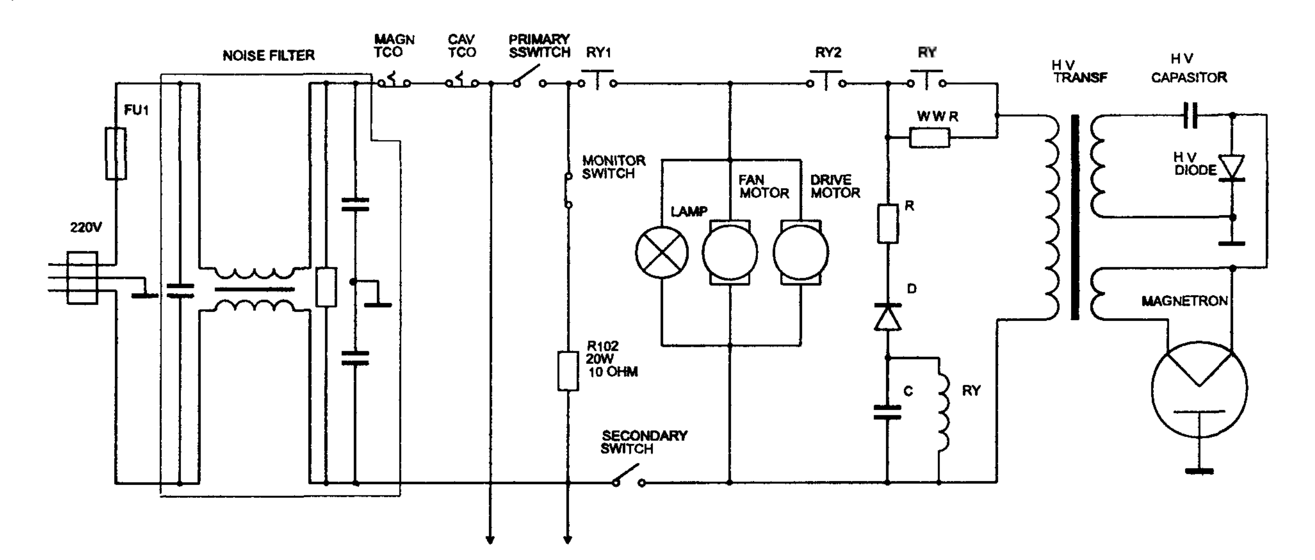



**Рис. 3.64. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “UMW-400 Unit”**

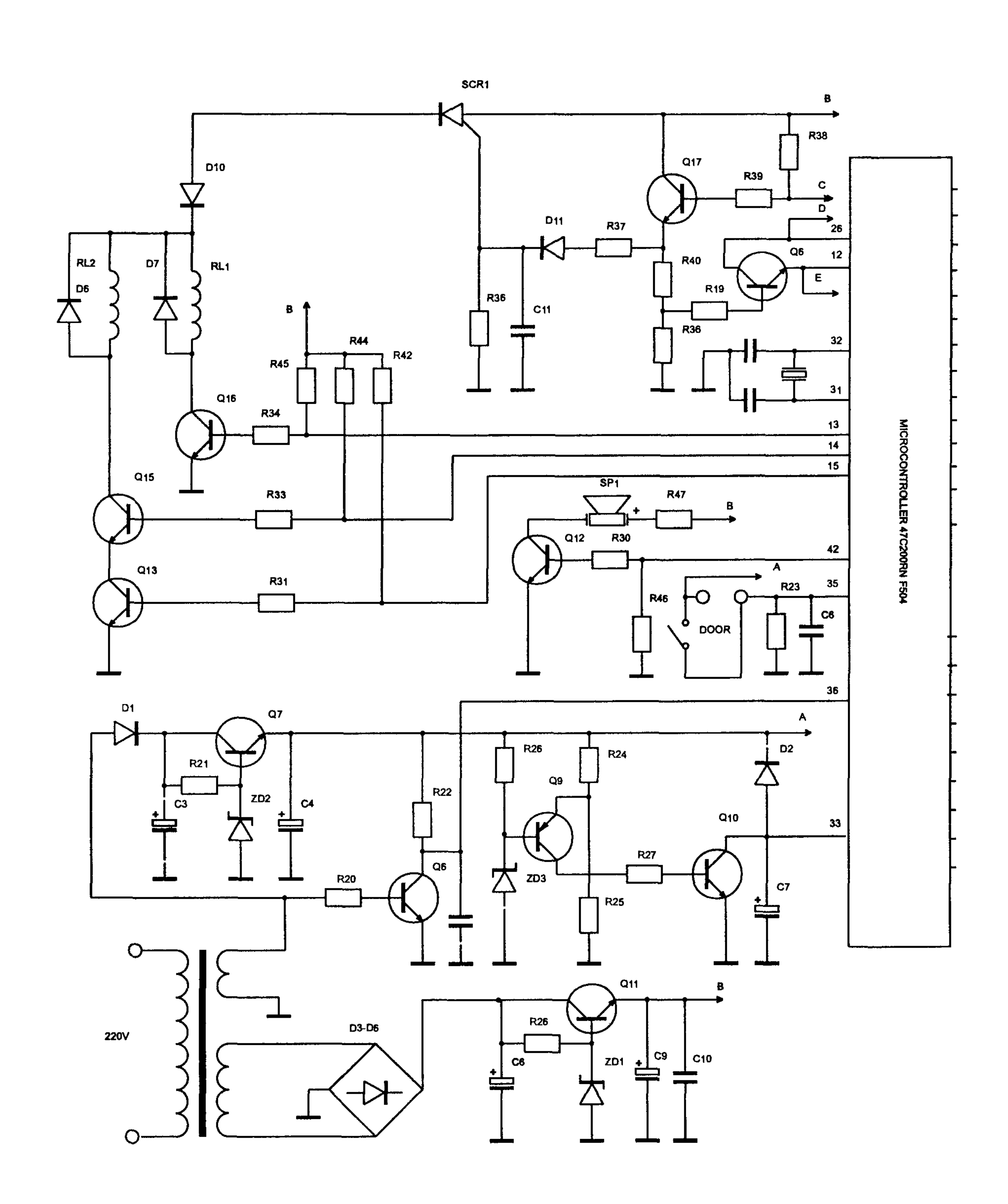
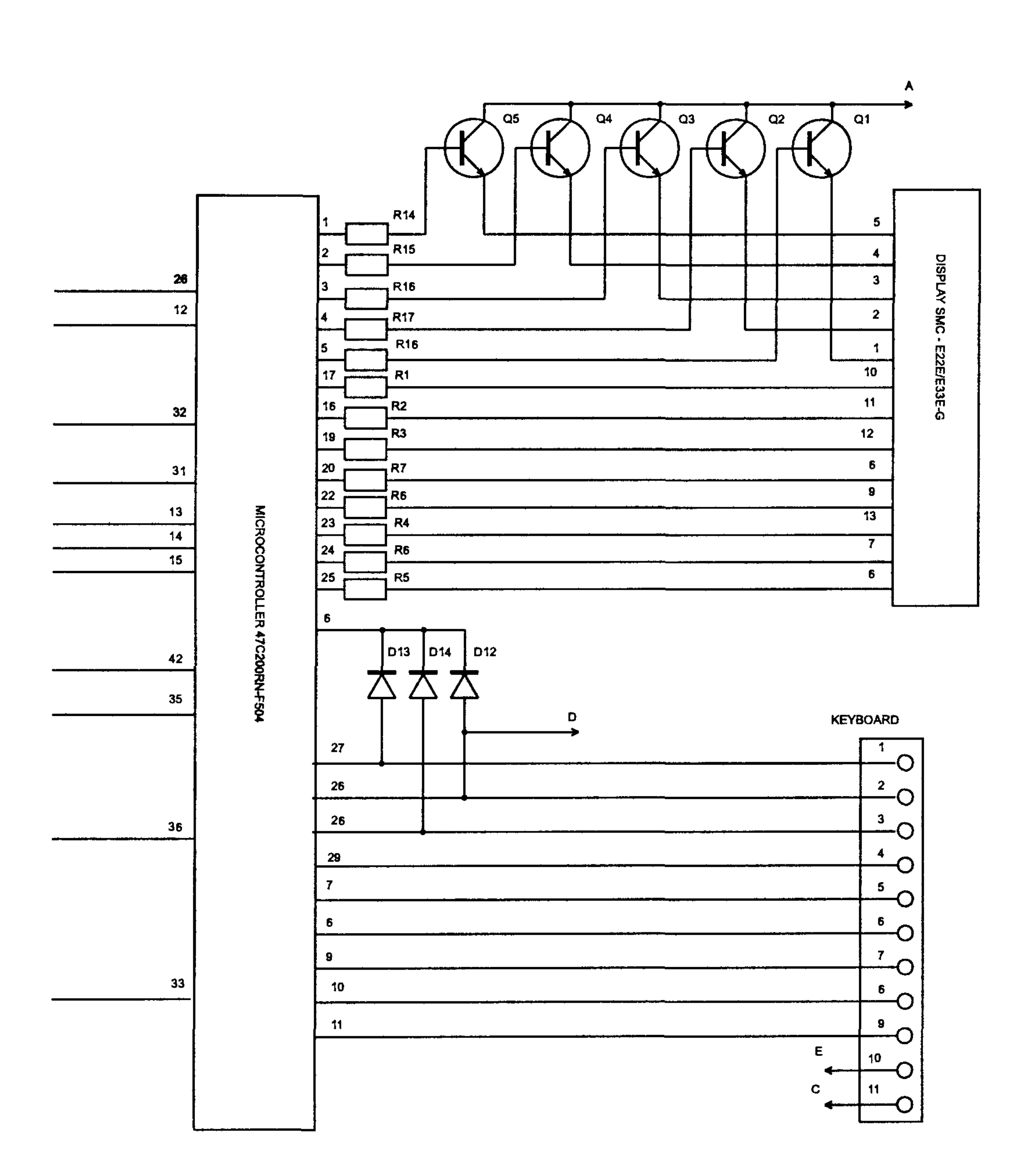



Рис. 3.65. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “UMW-400 Unit”


A
Q5
Q4
Q3
Q2
Q1
R14
R15
R16
R17
R16
R1
R2
R3
R7
R6
R4
R6
R5
MICROCONTROLLER 47C200RN-F504
DISPLAY SMC - E22E/E33E-G
D13
D14
D12
D
KEYBOARD
E
C

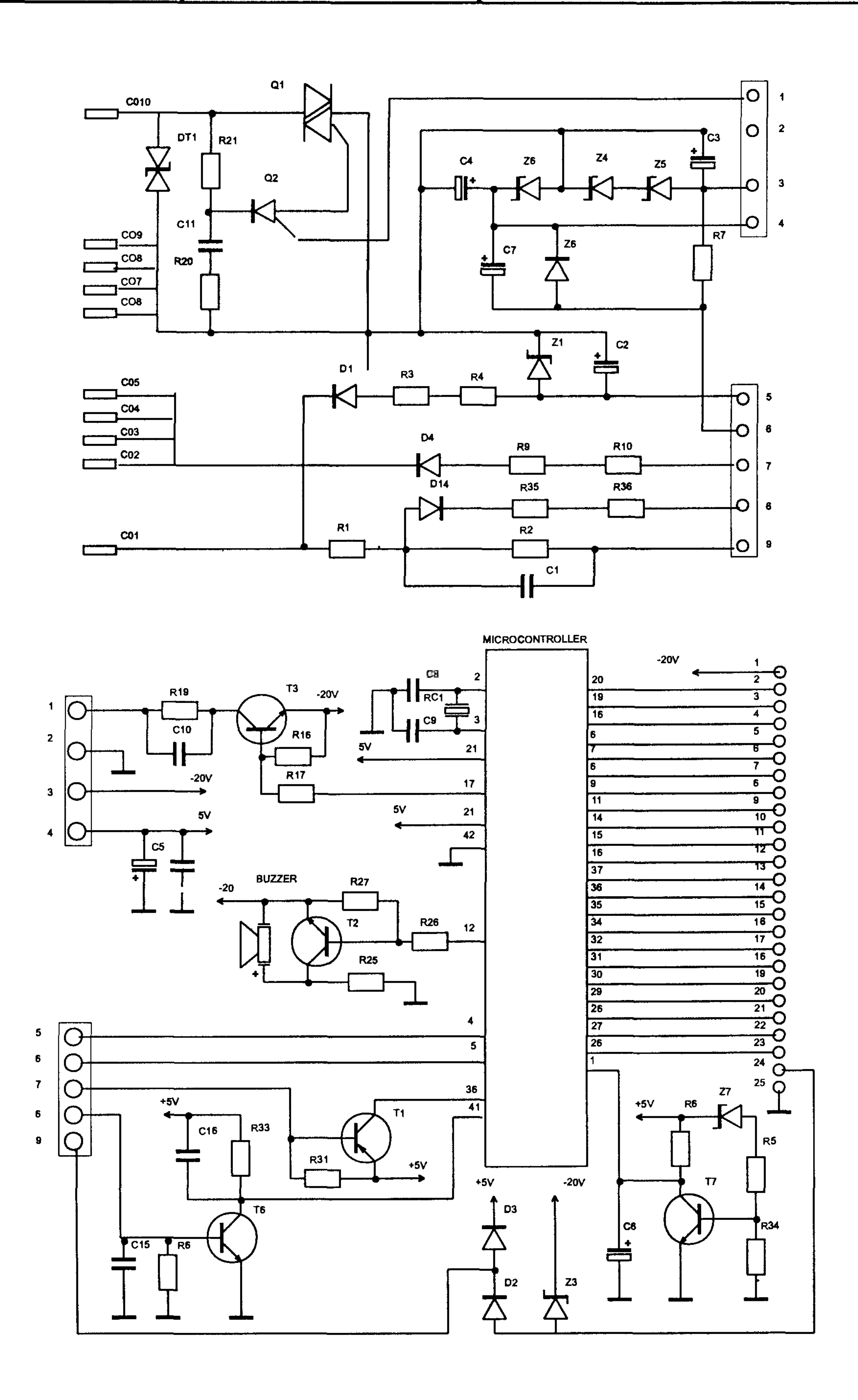
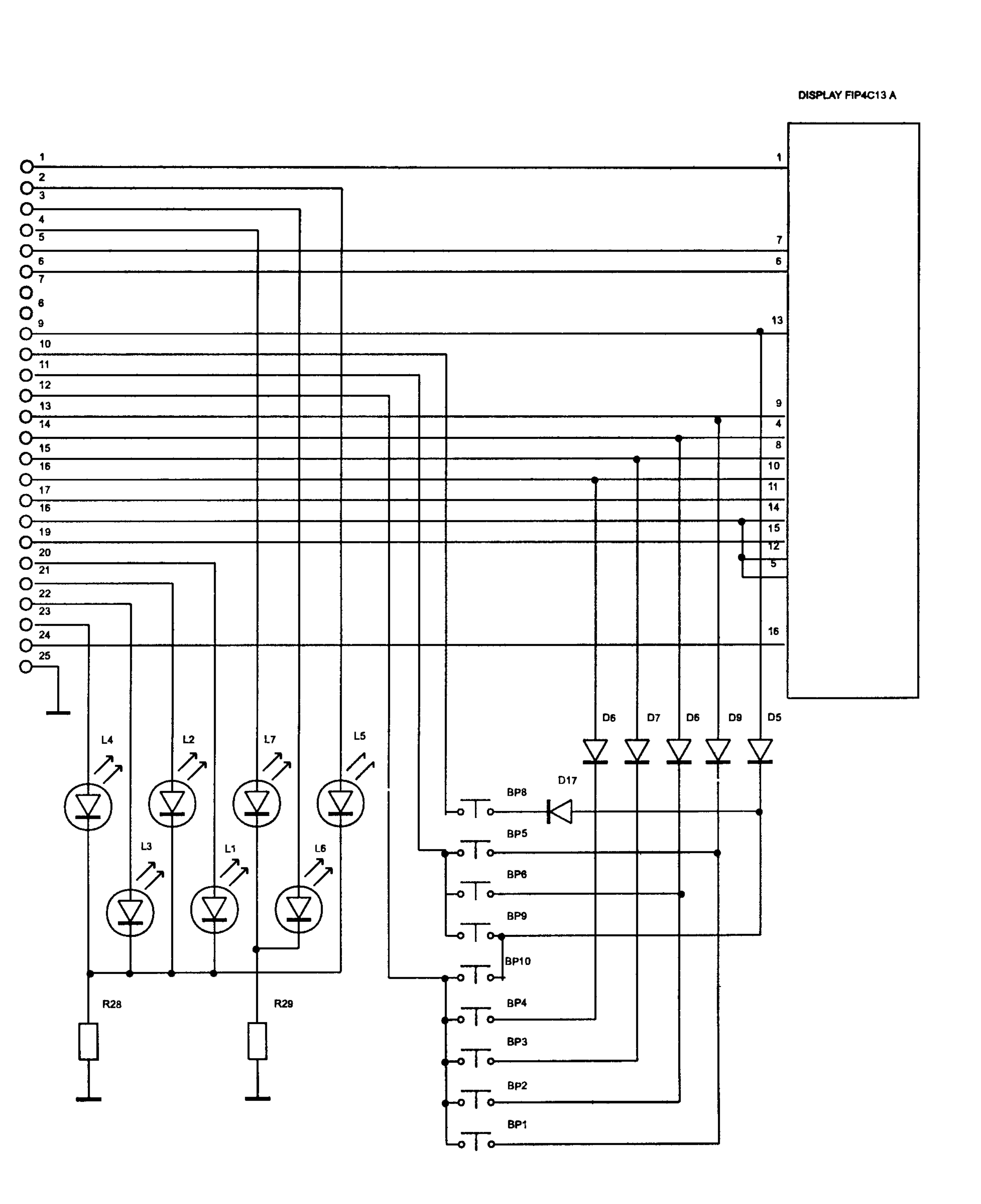



Рис. 3.66. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “Moulinex”


DISPLAY FIP4C13 A
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
16
19
20
21
22
23
24
25
1
7
6
13
9
4
8
10
11
14
15
12
5
16
D6
D7
D6
D9
D5
D17
L4
L2
L7
L5
L3
L1
L6
BP8
BP5
BP6
BP9
BP10
BP4
BP3
BP2
BP1
R28
R29

## Микроволновая печь “Moulinex”

Принципиальная электрическая схема блока управления печи показаны на рис. 3.66.

Чтобы снять с печи панель управления необходимо отвернуть винт, который находится под пленкой на лицевой стороне панели.

## Микроволновые печи “FM-740 Moulinex “, “FM-745 Moulinex”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.67, блока управления на рис. 3.68. Список характерных неисправностей приведен в таблице 3.35.

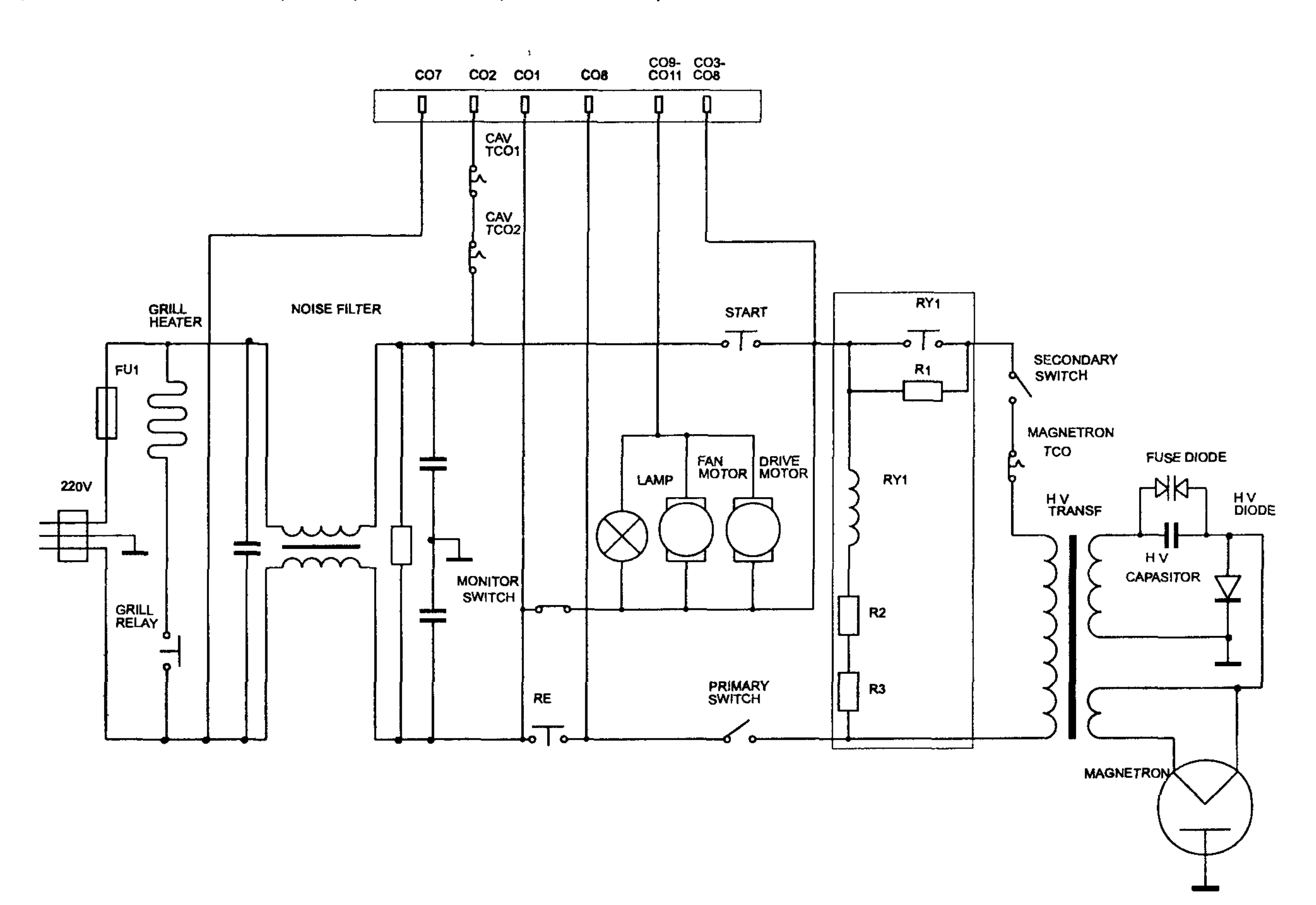



**Рис. 3.67. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “FM-740 Moulinex”**

**Таблица 3.35. Характерные неисправности блока управления микроволновой печи “FM-740 Moulinex”**

| № п/п. | Перечень характерных неисправностей. | Возможная причина неисправности и способы ее устранения. |
|---|---|---|
| 1. | Печь работает только при нажатии и удерживании кнопки “START” | 1. Вышла из строя микросхема IC2 MC14013 (российский аналог 561ТМ2)<br>2. Неисправен резистор R11 (R12) |
| 2. | Не срабатывает кнопка “START” | Вышел из строя транзистор Т2 |
| 3. | Не работает клавиатура. Индикатор светится с повышенной яркостью | Вышел из строя один из стабилитронов Z3, Z4, Z5 |

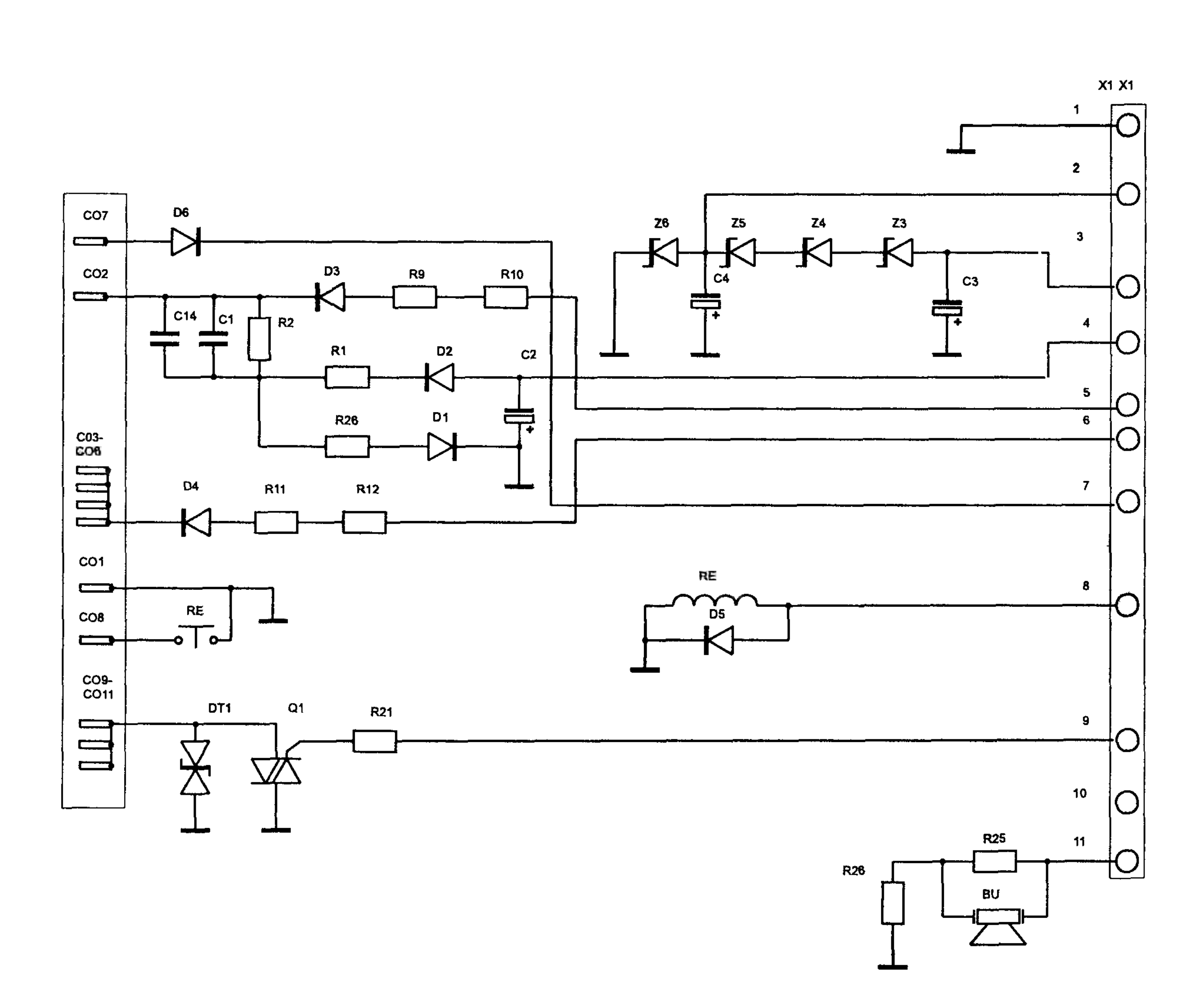



Рис. 3.68. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи "FM-740 Moulinex"

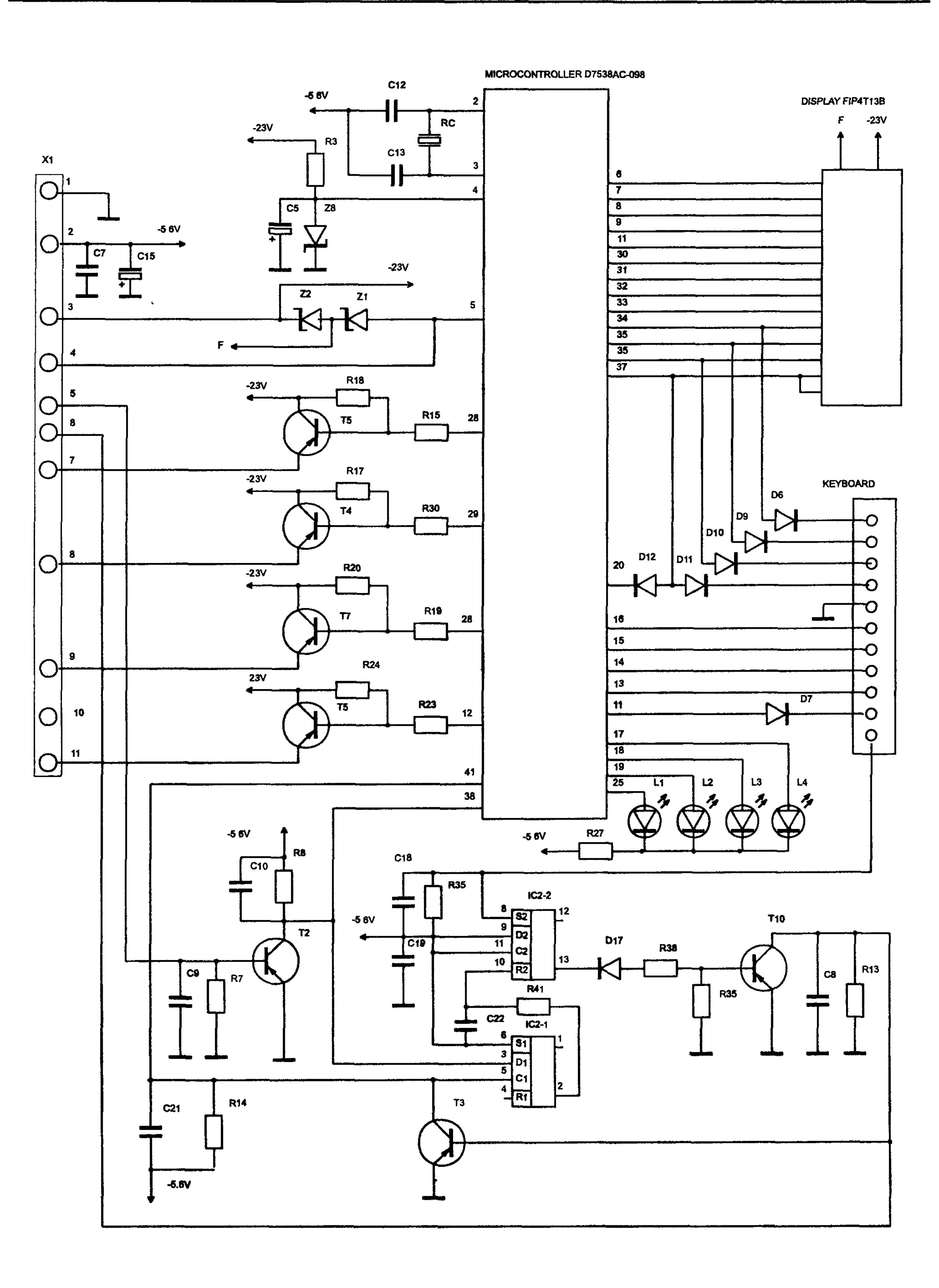



Рис. 3.68. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “FM-740 Moulinex” (продолжение)

# Микроволновая печь “M1615 Moulinex”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.69, блока управления на рис. 3.70.

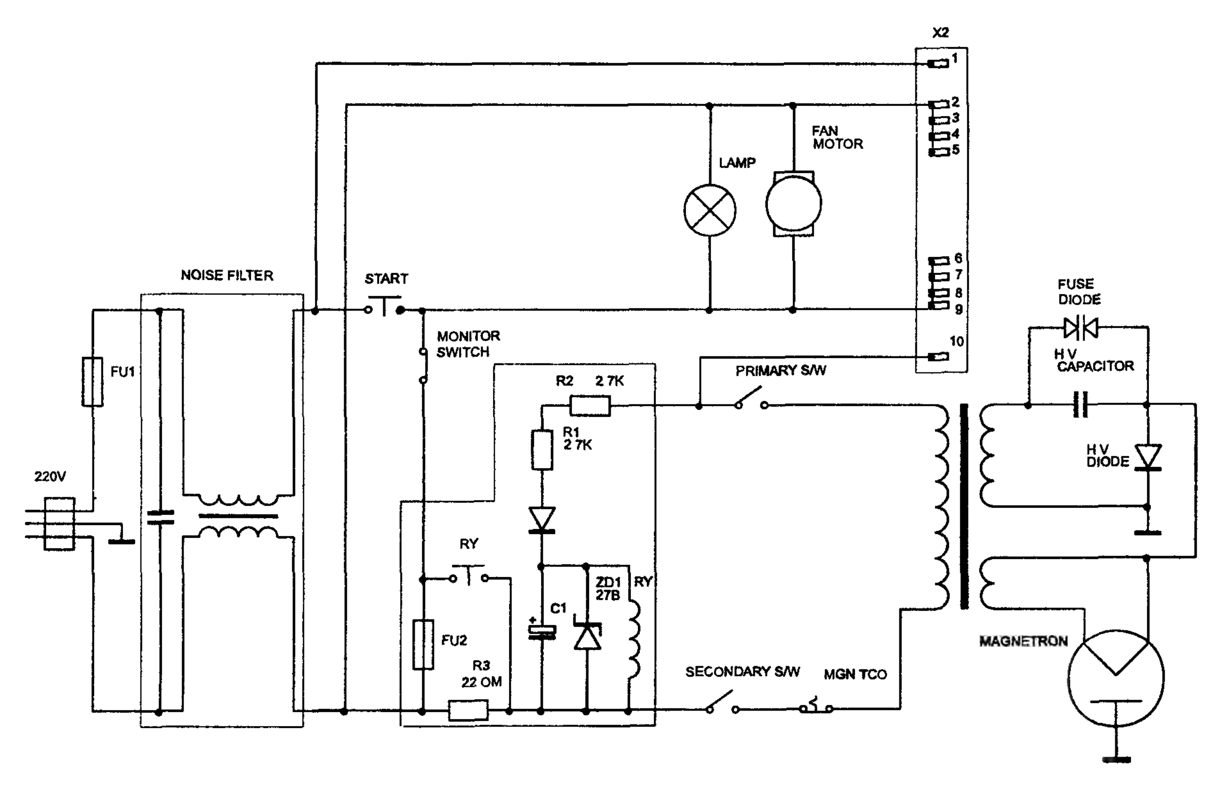
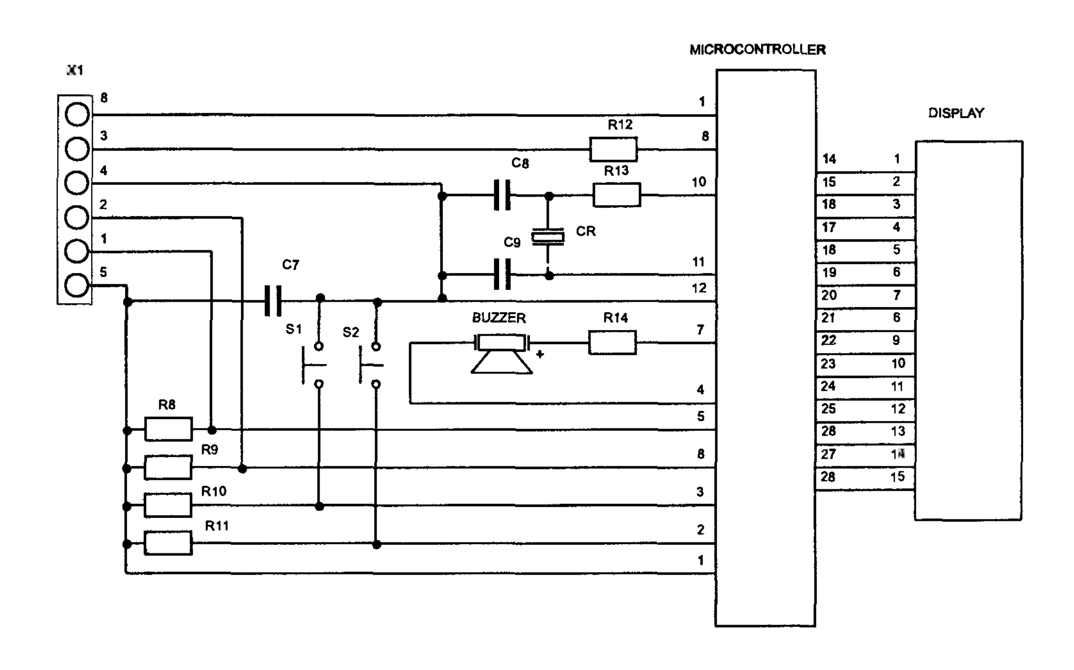



Рис. 3.69. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “M1615 Moulinex”



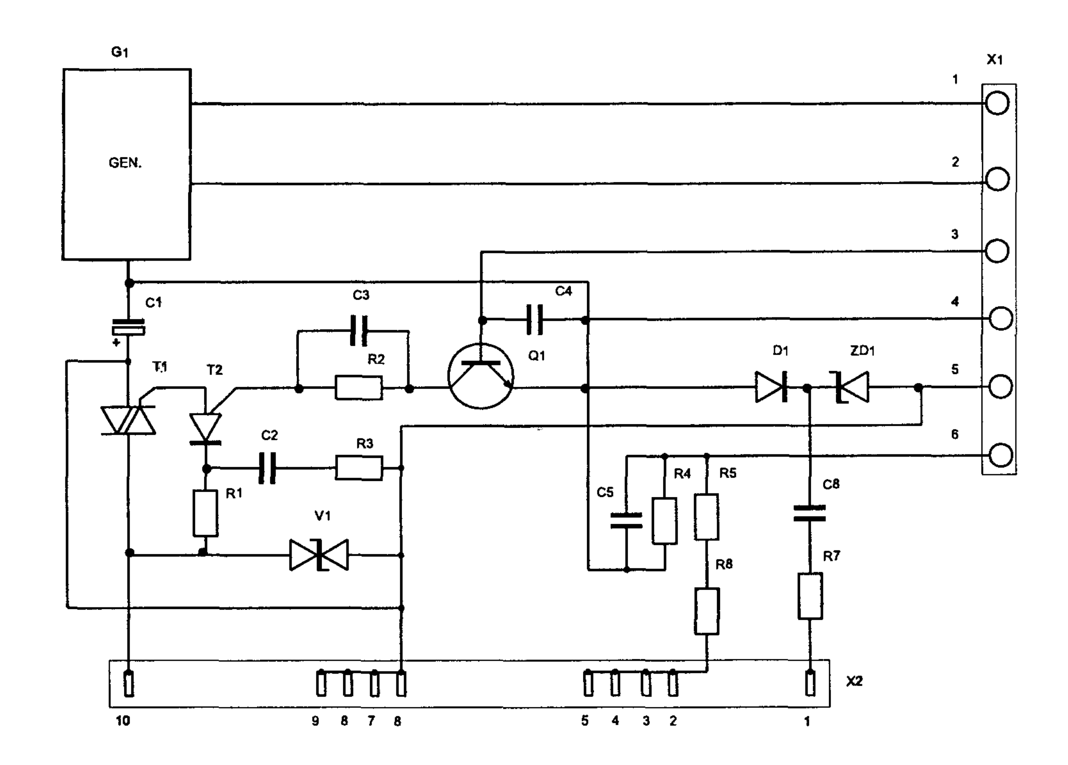




Рис. 3.70. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “M1615 Moulinex”

## Микроволновая печь “MO-55 Moulinex”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.71.

## Микроволновая печь “R2A55 Sharp”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.72, блока управления на рис. 3.73.

NOISE FILTER
START
TIMER
PRIMARY SWITCH
R3 22 OHM
SECONDARY SWITCH
FU1
ZD 27V
INRUSH RELAY
MAGNETRON TCO
FUSE DIODE
220V
MONITOR SWITCH
H V TRANSF
H V DIODE
LAMP
FAN MOTOR
TIMER MOTOR
R1 2 7K
H V CAPASITOR
R2 2 7K
FUSE2
VPC SWITCH
MAGNETRON

**Рис. 3.71. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “MO-55 Moulinex”**

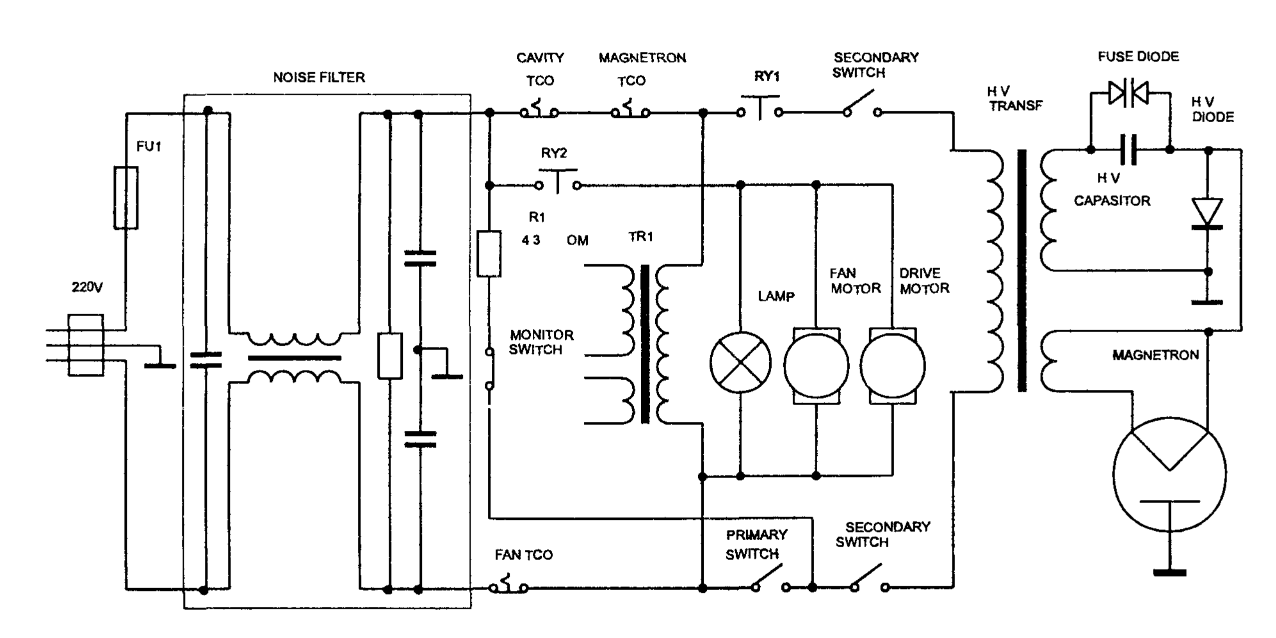



**Рис. 3.72. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “R2A55 Sharp”**

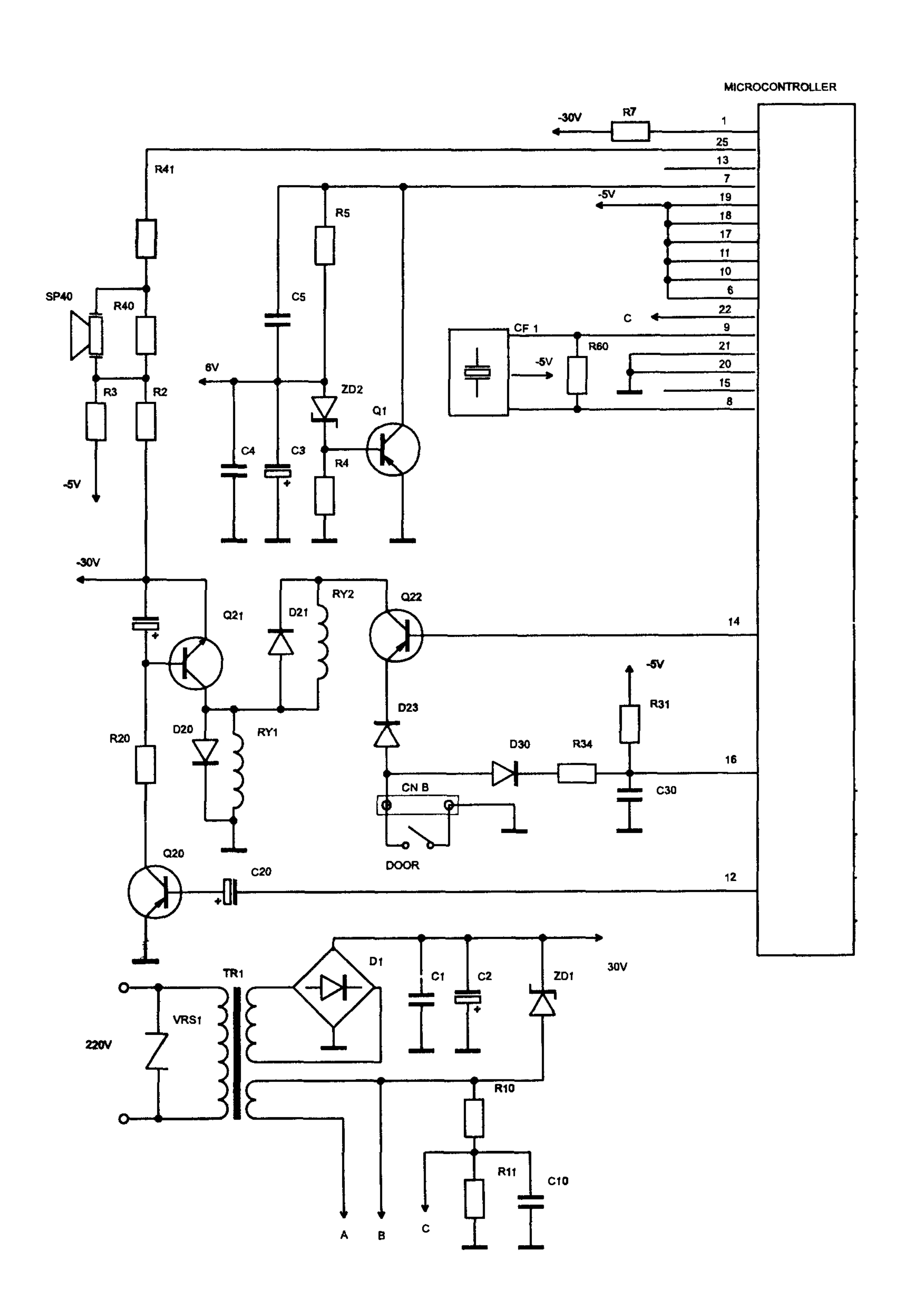
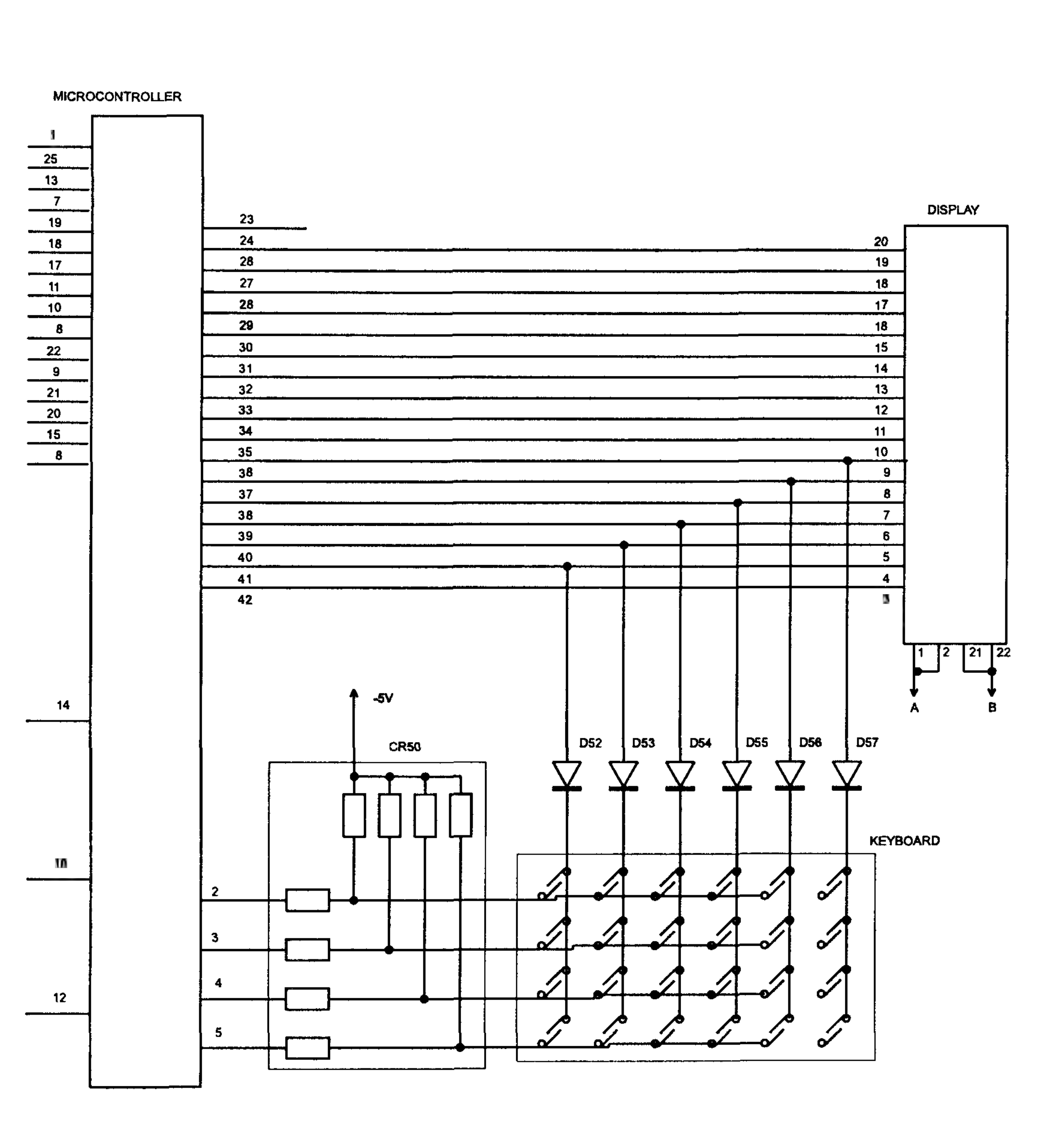



Рис. 3.73. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “R2A55 Sharp”


MICROCONTROLLER
25
13
7
19
18
17
11
10
8
22
9
21
20
15
8
14
12
23
24
28
27
28
29
30
31
32
33
34
35
38
37
38
39
40
41
42
DISPLAY
20
19
18
17
18
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
1
2
21
22
A
B
-5V
CR50
D52
D53
D54
D55
D56
D57
KEYBOARD
2
3
4
5

## Микроволновая печь “MK118 Microwellenherd”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.74.

## Микроволновая печь “DMR-602 Daewoo”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.75.

NOISE FILTER
FU1
TIMER SWITCH
PRIMARY SWITCH
VPC SWITCH
H.V. TRANSF.
H.V. DIODE
H.V CAPASITOR
TIMER MOTOR
VPS MOTOR
FAN MOTOR
DRIVE MOTOR
LAMP
220V
MONITOR SWITCH
MAGNETRON
MONITOR RESISTOR
SECONDARY SWITCH
CAVITY TCO
MAGNETRON TCO

Рис. 3.74. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “MK118 Microwellenherd”

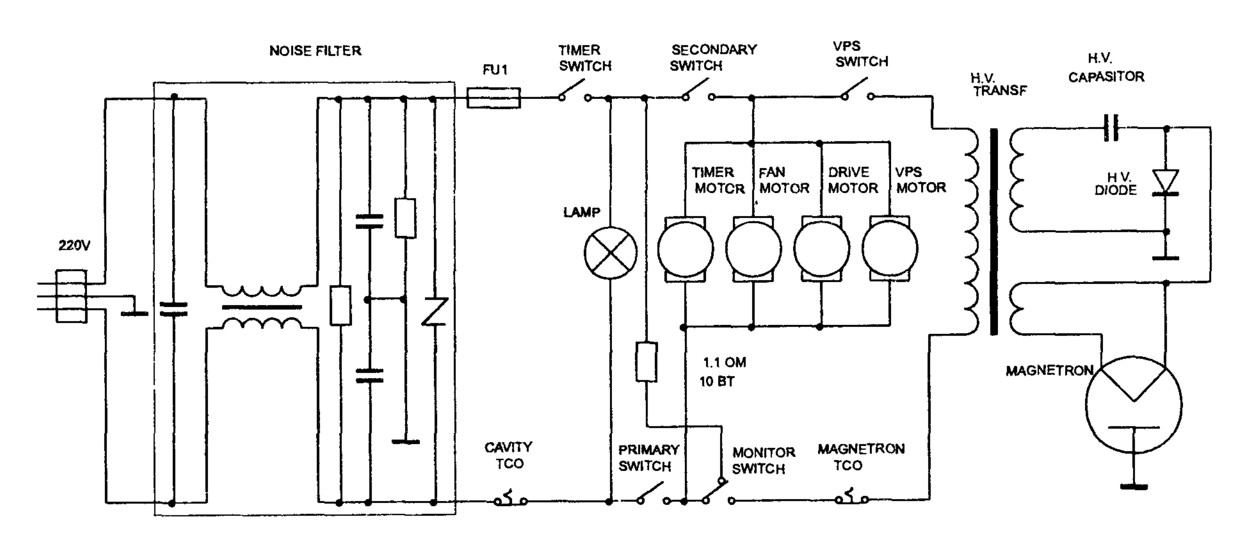



Рис. 3.75. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “DMR-602 Daewoo”

# Микроволновая печь “KOR951 Daewoo”

Принципиальная электрическая схема печи представлена на рис. 3.75, блока управления на рис. 3.76.

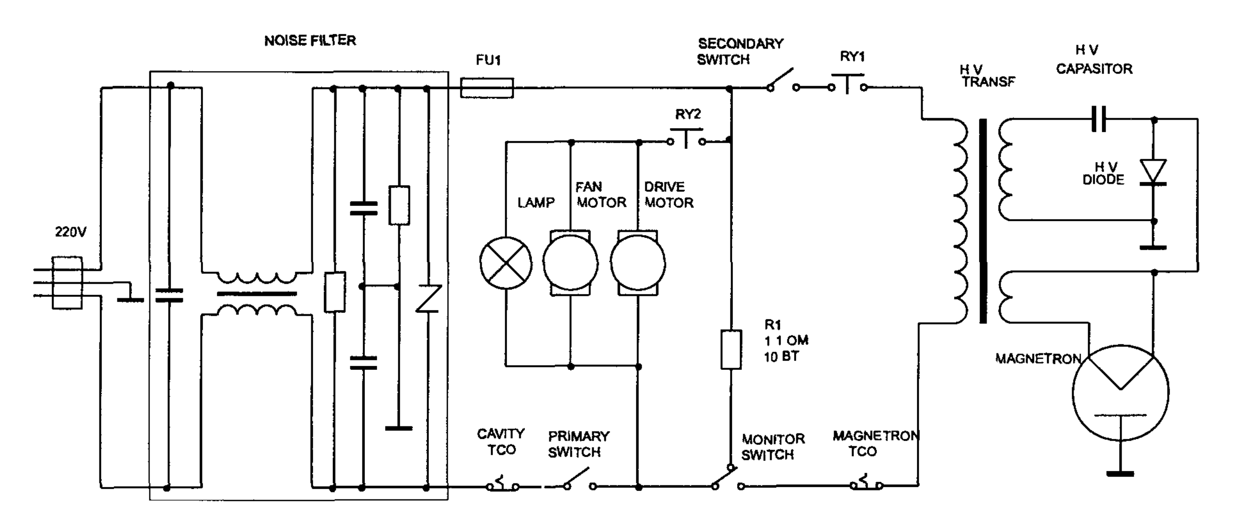



Рис. 3.76. Принципиальная электрическая схема микроволновой печи “KOR951 Daewoo”

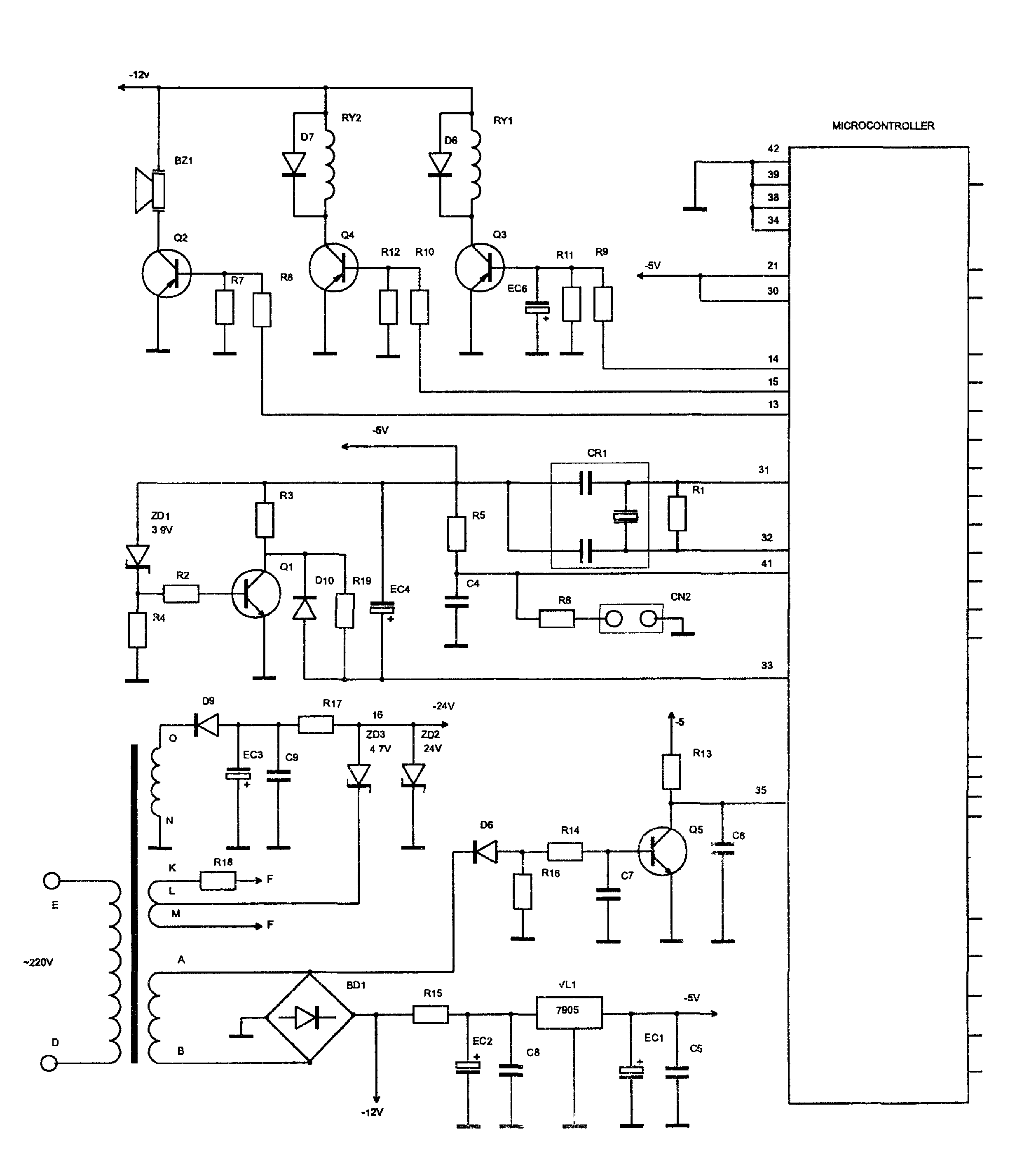
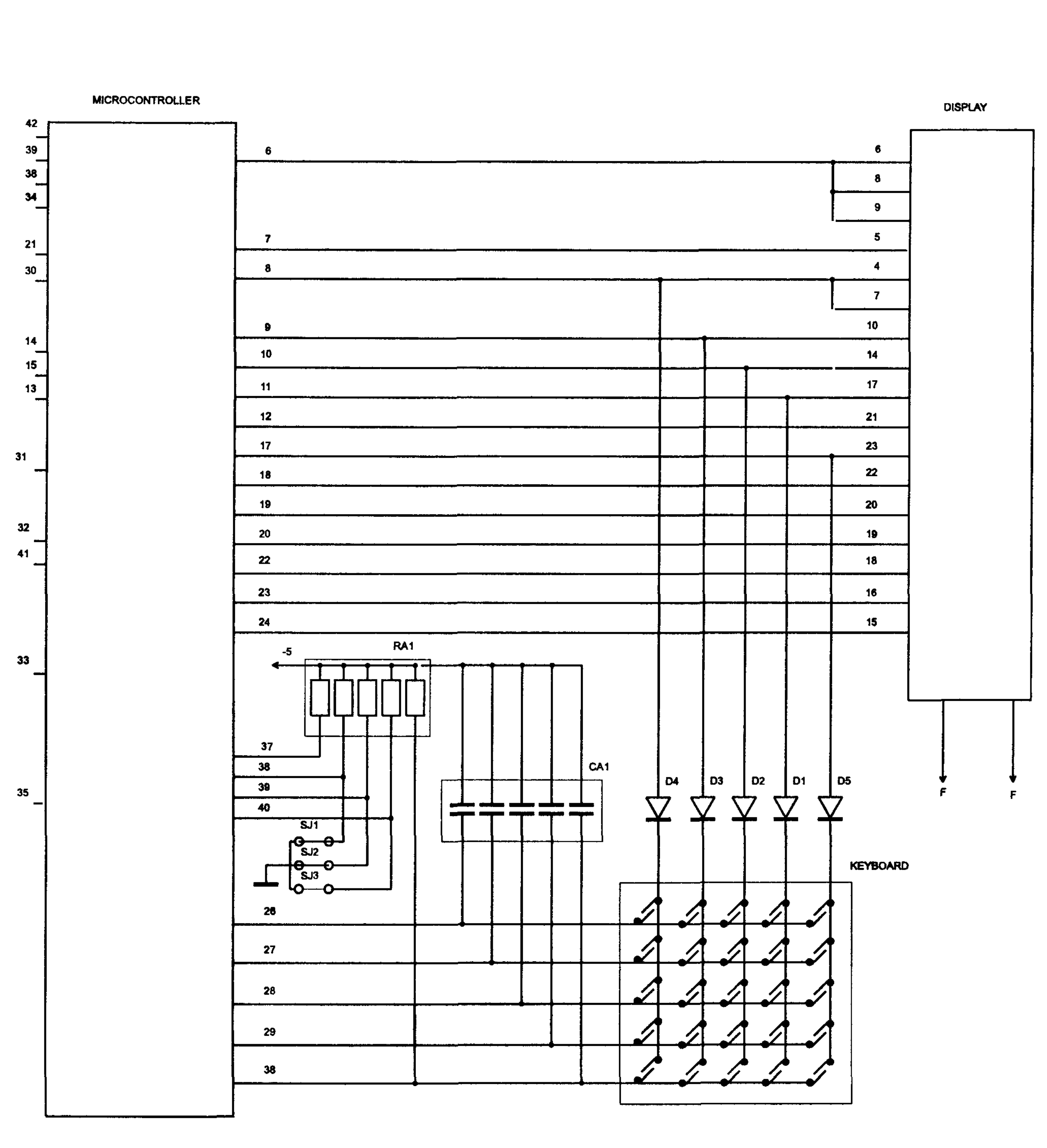



Рис. 3.77. Принципиальная электрическая схема блока управления микроволновой печи “KOR951 Daewoo”


MICROCONTROLLER
DISPLAY
KEYBOARD
RA1
CA1
-5
SJ1
SJ2
SJ3
D4
D3
D2
D1
D5
F
F

# Проверка тестером электронных компонентов

Если возникли сомнения в исправности того или иного элемента схемы, его можно проверить с помощью тестера. Нельзя сказать, что такая проверка проясняет ситуацию в 100% случаев и не все компоненты поддаются проверке, но без нее любой ремонт граничит с хиромантией и гаданием на кофейной гуще.

Иногда, для того чтобы проверить подозрительную деталь требуется ее отключение от схемы, поскольку внешние цепи способны исказить измеряемое сопротивление.

Перед тем как коснуться руками деталей блока управления, рекомендуется дотронуться до заземления, поскольку на теле человека может скапливаться заряд статического электричества, способный повредить микроконтроллер.

**Таблица п1.1. Проверка электронных компонентов**

| Тип прибора | Внешний вид | Изображение на схеме | Измеряемые контакты | Сопротивление | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | прямое | обратное |
| Диод | | А К | А — К | Малое | Большое |
| Стабилитрон | | А К | А — К | Малое | Большое |
| Диод высоковольтный | | А К | А — К | ∞ | ∞ |
| Фьюз диод | | А1 А2 | А1 — А2 | ∞ | ∞ |
| Симистор | | К УЭ А | А — К | ∞ | ∞ |
| | | | А — УЭ | ∞ | ∞ |
| | | | К — УЭ | Около 0 | Около 0 |
| Транзистор n-p-n | Э К Б | К Б Э | Б — К | Малое | Большое |
| | | | Б — Э | Малое | Большое |
| | | | К — Э | ∞ | ∞ |
| Транзистор p-n-p | Э К Б | К Б Э | Б — К | Большое | Малое |
| | | | Б — Э | Большое | Малое |
| | | | К — Э | ∞ | ∞ |

**Таблица п1.1. Проверка электронных компонентов (продолжение)**

| Тип прибора | Внешний вид | Изображение на схеме | Измеряемые контакты | Сопротивление | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | прямое | обратное |
| Цифровой p-n-p транзистор | N4111 Э К Б | К Б Э | Э — Б | 10 — 30К | 10 — 30К |
| | | | К — Б | 50 — 90К | ∞ |
| | | | К — Э | 40 — 80К | ∞ |
| Магнетрон | А К1 К2 | А К1 К2 | А — К1 | ∞ | |
| | | | А — К2 | ∞ | |
| | | | К1 — К2 | Менее 1 Ом | |
| Высоко-вольтный конденсатор | К В1 В2 | В1 В2 | Корпус — В1 | ∞ | |
| | | | Корпус — В2 | ∞ | |
| | | | В1 — В2 | ∞ | |
| Термореле | К1 К2 | К1 К2 | К1 — К2 | 0 | 0 |
| Микропере-ключатель | К1 К2 К3 | К3 К1 К2 | | Кнопка нажата | Кнопка отпущена |
| | | | К1 — К2 | 0 | ∞ |
| | | | К1 — К3 | ∞ | 0 |
| | | | К2 — К3 | ∞ | ∞ |

# Цветная маркировка резисторов

Маломощные проволочные и пленочные резисторы с допуском от 2 до 20% имеют стандартные значения сопротивлений и стандартную схему цветной маркировки. Это позволяет легко определять номинал резистора по его цвету, а не по цифровой маркировке, которую не сразу разглядишь, особенно на современных миниатюрных резисторах, размером 2 — 3мм. Стандартные значения сопротивлений резисторов выбраны так, что смежные значения отличаются на 10% для резисторов с допуском 2 и 5% и на 20% для допусков 10 и 20%. Ниже приведен стандартный ряд номинальных значений сопротивлений (невыделенные значения относятся только к допуску 2 и 5%).

**Таблица п2.1. Стандартный ряд номинальных значений**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **10** | 16 | **27** | 43 | **68** |
| 11 | **18** | 30 | **47** | 75 |
| **12** | 20 | **33** | 51 | **82** |
| 13 | **22** | 36 | **56** | 91 |
| **15** | 24 | **39** | 62 | **100** |

С помощью цветной маркировки можно задать любые значения сопротивлений, но не все они существуют на практике. Цветная маркировка производится в виде нанесения цветных колец вокруг корпуса резистора (рис. п2.1).

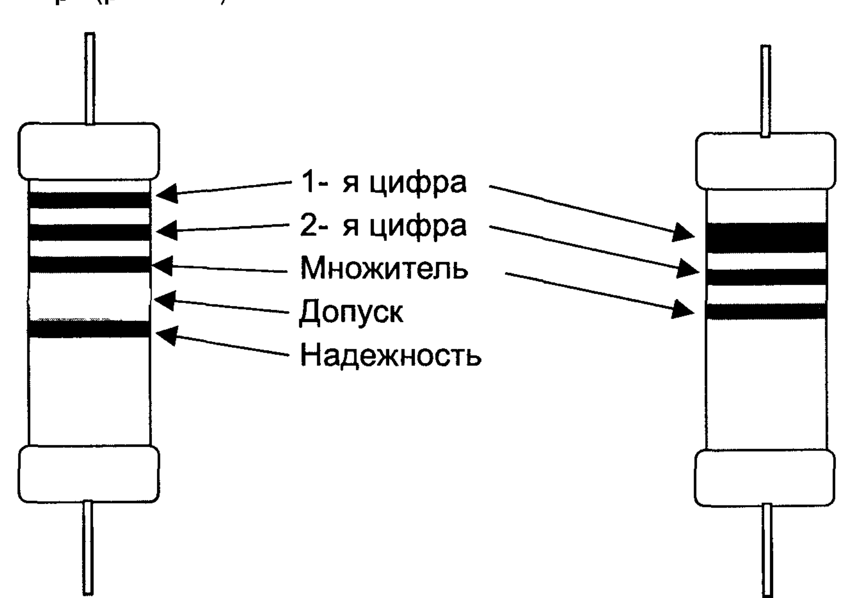



**Рис. п2.1. Цветовая маркировка резистора**

Первые две цифры и множитель обозначают величину сопротивления резистора. Причем первая полоска либо смещена к краю резистора, либо выполнена утолщенной. Обычно присутствует и четвертая полоска, которая определяет величину допуска, а иногда и пятая для каких-либо других параметров (желтая или оранжевая полоска на металлопленочных резисторах обозначает уровень надежности). Соответствие между цветами полосок на корпусе резистора и их значением приведено в таблице п2.2.

Например, если резистор имеет последовательно идущие красную, черную, коричневую и золотистую полоски — это означает что его номинал R=20*10=200 Ом, при допуске 5%.

**Таблица п2.2. Значение цветовых полосок**

| Цвет | 1-я цифра | 2-цифра | Множитель | Допуск |
|---|---|---|---|---|
| Серебряный | | | 0,01 Ом | 10% |
| Золотой | | | 0,1 Ом | 5% |
| Черный | 0 | 0 | 1 Ом | |
| Коричневый | 1 | 1 | 10 Ом | |
| Красный | 2 | 2 | 100 Ом | 2% |
| Оранжевый | 3 | 3 | 1 кОм | |
| Желтый | 4 | 4 | 10 кОм | |
| Зеленый | 5 | 5 | 100 кОм | |
| Голубой | 6 | 6 | 1 МОм | |
| Фиолетовый | 7 | 7 | 10 МОм | |
| Серый | 8 | 8 | | |
| Белый | 9 | 9 | | |
| Отсутствует | | | | 20% |

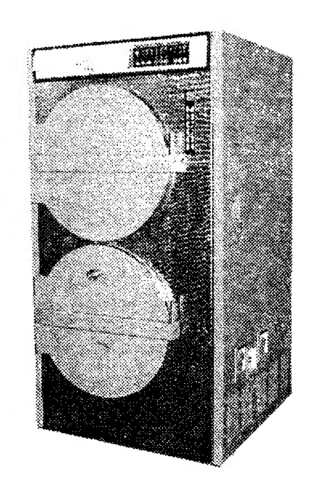


# ИНГРЕДИЕНТ

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСВЕННОСТЬЮ

*Микроволновая вакуумная технология обезвоживания - самый перспективный способ переработки свежей сельхозпродукции в экологически чистые продукты нового качества:*

- *имеющие длительный срок хранения;*
- *быстро восстанавливающие при контакте с водой естественные свойства продукта (форму, консистенцию, цвет, аромат);*
- *сохраняющие практически полностью витамины, биологически активные вещества, эфирные масла за счёт разработанных низкотемпературных режимов сушки.*



***Компанией «Ингредиент» разработаны и серийно производятся:***

1. *Вакуумные микроволновые установки типа* ***«Муссон»*** для сушки сельскохозяйственного сырья, фармацевтических материалов, лекарственных трав, грибов, ягод, морепродуктов. Из продуктов, подвергаемых сушке на «Муссоне», как дополнительный пищевой продукт, получают конденсат, сохраняющий запах сырья (вода с запахом трав, лука, концентрированный сок при сушке ягод).
2. *Микроволновые барабанные установки типа* ***«Ламинария»*** для сушки водорослей, трав, зелени. Работает в непрерывном режиме.
3. *Микроволновые шнековые установки типа* ***«Бархан»*** для сушки сыпучих продуктов питания, порошкообразных химических и строительных материалов. Работает в непрерывном режиме.

Экологически чистые установки обеспечивают высокое качество продукции, энерго- и ресурсосбережение; имеют малые габариты, интерфейс с компьютером, автоматическое ворошение продуктов в процессе сушки, программное управление технологическим режимом.

Способ сушки и устройство установок запатентованы.

«Ингредиент» осуществляет установку оборудования, обучение персонала, гарантийное и сервисное обслуживание, помогает разработать концепцию безотходного производства.

---

198020, Россия, Санкт-Петербург, н. р. Фонтанки, 156, т./ф: (812) 251-82-94.
E-mail: ingred@spb.cityline.ru, vaivanov@eltech.ru. www.ingredient.spb.ru

# Содержание